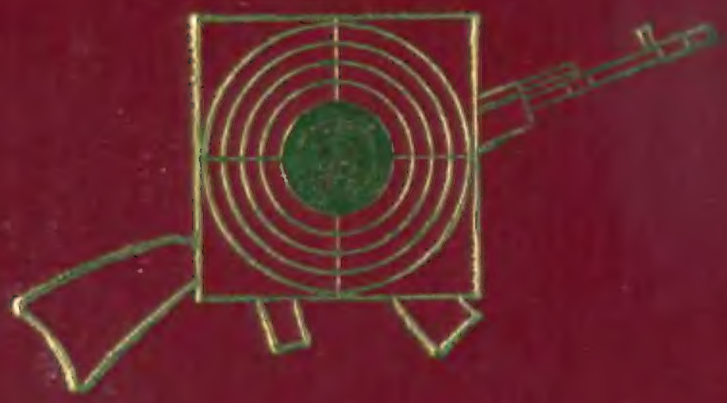
VISIT…

Г.А. Данилин
В.П. Огородников
А.Б. Зарослкин

Основы проектирования патронов к стрелковому оружию



Санкт-Петербург 2006

Г.А. ДАНИЛИН, В.П. ОГОРОДНИКОВ,
А.Б. ЗАВОЛОКИН

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАТРОНОВ К СТРЕЛКОВОМУ ОРУЖИЮ

Учебник

Допущено
УМО по университетскому политехническому образованию
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности 171500
"Высокоэнергетические устройства автоматических систем"

Санкт-Петербург
2005

Авторы: *Г.А. Данилин*, д-р техн. наук, проф; *В.П. Огородников*, канд. техн. наук; *А.Б. Заволокин*, нач. КБ

УДК 623.455.2/.6.001.63(075.8)
Д18

Данилин, Г.А.

Д18 Основы проектирования патронов к стрелковому оружию: Учебник / Г.А. Данилин, В.П. Огородников, А.Б. Заволокин; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2005. 374 с.
ISBN 5-85546-139-4

Изложены основные принципы классификации патронов стрелкового оружия, рассмотрены модели баллистических расчётов, выбора условий заряжания, определения динамических и баллистических характеристик пуль, оценки их надёжного функционирования при выстреле. Приведены методики расчёта основных параметров экстракции и прочностных характеристик гильз. Порядок проектирования обоснован сведениями об устройстве и назначении различных видов патронов, рассмотрены методы испытаний и приёмки изделий.

Предназначено для студентов и аспирантов вузов, а также инженерно-технических работников патронной отрасли, специализирующихся в области проектирования и производства боеприпасов.

УДК 623.455.2/.6.001.63(075.8)

Рецензенты: заслуженный деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф. *Н.А. Усенко*, главный инженер ФГУП "ПО Ульяновский машиностроительный завод" *Б.Р.Гринберг*

ISBN 5-85546-139-4

© Авторы, 2005
© БГТУ, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ И БОЕПРИПАСОВ 7
2. КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТРОНОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ 34
2.1 Характеристика стрелкового комплекса "оружие - патроны" 34
2.2. Концепция применения стрелкового комплекса "оружие - патроны" 35
2.3 Характеристика средств индивидуальной защиты и броневой защиты боевых машин 39
2.4 Классификация патронов стрелкового оружия 41
3. РАЗНОВИДНОСТИ ПАТРОНОВ К СТРЕЛКОВОМУ ОРУЖИЮ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ 48
3.1. Устройство и основные требования, предъявляемые к патронам 48
3.2. Пистолетные патроны 51
3.3 Автоматные патроны 56
3.4. Винтовочные патроны 60
3.5. Крупнокалиберные патроны 63
3.6 Патроны со стреловидными пулями 66
3.7 Многопульные патроны 67
3.8 Бесшумные патроны 68
3.9. Патроны для подводной стрельбы 70
3.10. Вспомогательные патроны 72
4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ВЫСТРЕЛА 79
4.1. Элементы внутренней баллистики 79
4.2. Элементы внешней баллистики 84
4.3. Силы, действующие на пулю в полёте 88
4.4. Дальность прямого выстрела 95
4.5. Рассеивание пуль 101
5. КОНСТРУКЦИИ ПУЛЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ИХ ПО ЦЕЛЯМ 106
5.1. Общие положения 106
5.2. Обыкновенные пули 108
5.3 Оценка убойного действия обыкновенных пуль 113
5.4. Оценка пробивного (проникающего) действия обыкновенных пуль 119
5.5 Конструкция бронебойных пуль. Оценка бронебойного действия 122
5.6 Трассирующие пули. Определение дальности трассирования 130
5.7. Зажигательные и разрывные (пристрелочные) пули 136
5.8 Пули комбинированного действия 143
5.9. Пули для снайперских патронов 145
5.10 Пули к [illegible] патронам 147
6 ДИНАМИЧЕСКИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬ 154
6.1. Определение динамических характеристик пуль 154
6.2. Обеспечение стабилизации на полёте оперённых пуль 167
6.3. Оценка возможности поперечного разрыва оболочки пули в канале ствола 168

6.4. Расчёт пуль на срыв с нарезов канала ствола.....177
6.5. Расчёт пуль на демонтаж по вылете из канала ствола.....183
7. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГИЛЬЗ. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИЛЬЗ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ.....188
7.1. Назначение и основные требования, предъявляемые к гильзам.....188
7.2. Устройство гильз.....192
7.3. Материалы для гильз.....201
7.4. Функционирование гильз при выстреле.....207
7.5. Определение конечного зазора между гильзой и каморой после выстрела.....216
7.6. Расчёт прочности гильзы при выстреле.....224
7.6.1. Расчёт прочности гильзы на продольный разрыв.....226
7.6.2. Расчёт прочности корпуса гильзы на поперечный разрыв.....237
7.6.3. Расчёт прочности фланца гильзы.....243
7.7. Расчёт патрона на надёжность от распатронирования в процессе досылания в патронник.....244
8. ВЫБОР УСЛОВИЙ ЗАРЯЖАНИЯ.....252
8.1. Взаимозависимость элементов внутри баллистических характеристик.....252
8.2. Последовательность решения задачи выбора условий заряжания.....254
8.3. Пороха для патронов стрелкового оружия.....264
8.4. Капсюля-воспламенители.....271
9. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ИЛИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПАТРОНОВ.....278
9.1. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ.....278
9.2. Разработка технических условий на изготовление (модернизацию) патрона.....281
9.3. Разработка технических требований к патронам.....284
9.4. Разработка технического задания на проектирование патрона.....285
9.5. Проектирование конструкторской документации на патрон к стрелковому оружию.....288
10. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЁМКА ПАТРОНОВ К СТРЕЛКОВОМУ ОРУЖИЮ.....292
10.1.Приёмо-сдаточные испытания.....292
10.2.Организация испытаний патронов к стрелковому оружию.....313
10.3.Упаковка и маркировка боевых патронов. Условные знаки и обозначения.....321
10.4. Маркировка патронов к гражданскому и служебному оружию.....330
Библиографический список.....336
Приложения. 1. Значения основных функций скорости.....337
2. Значения вспомогательных функций.....340
3. Значения поправочных коэффициентов.....354
4. Данные для баллистического расчёта скорости (ТБР).....358
5. Значения коэффициентов α', β', μ', ν' для определения динамических характеристик пуль.....371
6. Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 для определения динамических характеристик пуль.....372
7. Механические характеристики гильзовых материалов.....372

ВВЕДЕНИЕ

Издавна стрелковое оружие являлось наиболее массовым во всех армиях мира. До середины XIX в. применялось огнестрельное оружие с раздельным заряжанием, что требовало от стрелка особой сноровки, больших затрат времени и сковывало маневренность боевых подразделений. Поворотным этапом стало появление и применение в бою унитарного патрона, который объединял все элементы выстрела в единое целое. Упростился процесс заряжания, повысилась безопасность в обращении с оружием, возросла укомплектованность бойца боеприпасами, увеличился темп стрельбы. Всё это существенным образом отразилось на качестве оперативных действий военных подразделений, позволило принципиально изменить тактику ведения боя.

Система стрелкового вооружения непрерывно совершенствуется в соответствии со всё возрастающими требованиями, которые зависят от изменения условий ведения боевых действий и определяют новые направления в развитии стрелковых комплексов в целом.

Патрон является главным элементом, реализующим основное назначение огнестрельного оружия – поражение живой силы и боевой техники противника. Длительное время разработка новых образцов патронов производилась опытным, дорогостоящим путём с ориентацией на практику эксплуатации аналогичных изделий. К 1970–1980-м годам на базе фундаментальных исследований сложилась более рациональная система проектирования боеприпасов, в которой стали наиболее полно использовать методики баллистических расчётов, оценки эффективности дейст-

вия по целям, решения узловых проблем надёжности функционирования и эксплуатационной безопасности. При этом важнейшей проблемой, которая решалась на этапах проектирования, являлось создание образца, отличающегося высокой производственной технологичностью.

Современные методы проектирования и отработки стрелковых комплексов должны базироваться на знании процессов, происходящих при выстреле, на учёте взаимодействия всех элементов комплекса с привлечением положений системного анализа и современных достижений вычислительной техники. Необходимость такого подхода определяется усложнением оружия, его многофункциональностью, применением новых материалов, использованием прогрессивных методов обработки в технологических процессах изготовления стрелкового оружия и патронов.

Масштабы расходования патронов стрелкового оружия даже в мирное время исчисляются миллиардами штук, что требует значительных материальных затрат не только на их производство, но и на транспортировку, хранение, проведение полигонных испытаний. Поэтому вопросам совершенствования конструкций, исследованию возможностей применения недефицитных материалов, поиску оригинальных решений по достижению высокой эффективности действия по целям, надёжности и эксплуатационной безопасности уделяется большое внимание. Разработка новых и модернизация существующих образцов патронов является непрерывным процессом совершенствования оружия.

1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ И БОЕПРИПАСОВ

Возникновение и применение огнестрельного оружия как средства разрешения конфликтных ситуаций относят к незапамятным временам. Считают, что родиной оружейного мастерства является древний Восток. Ещё в начале первого тысячелетия новой эры здесь сложились хорошие предпосылки для изготовления оружия. В Индии и Китае, Персии и Аравии, халифатах Средней Азии уже в те времена работали великолепные мастера, способные изготавливать не только холодное оружие и доспехи, но и простейшие огнестрельные устройства. Развивалось литейное производство, появилась легендарная сталь – булат ("пулад"), совершенствовалось ковочное мастерство (в том числе и горячая сварка ковкой), были известны рецептуры дымного пороха. Оружейники того времени владели высоким искусством в деле изготовления различных видов метательного оружия, которое обладало неплохими баллистическими качествами и являлось серьёзным конкурентом нового огнестрельного оружия. Метательное оружие сошло с боевой сцены не скоро, лишь тогда, когда было побеждено баллистическими и тактическими преимуществами усовершенствованных огнестрельных образцов.

В 690 г. при осаде Мекки, у арабов, которыми командовал шейх Гаги-эль, имелись огнестрельные орудия и зажигательные снаряды. Пороховой состав арабы позаимствовали, вероятно, из Китая, где селитра была известна давно. Марк Грен в 846 г. в своей рукописи "Книга огней" точно описал рецепт изготовления пороха: селитра – 60%, сера – 20% и уголь – 20%.

Появление огнестрельного оружия в Европе относят к началу второго тысячелетия. Так, в 1073 г. венгерский король Соломон применял пушки при осаде Белграда, а в 1098 г. греки использовали против пизанцев огнестрельные "трубы в виде звериных голов, извергающие огонь".

В 1185 г., во время похода Игоря Святославовича и других князей против половецких ханов Гзака и Кончака, в сражении был взят русскими в плен "басурман, стрелявший живым огнём". Пленник, однако, не открыл русским свой секрет стрельбы.

Рассмотрим в хронологическом порядке те краткие и отрывочные сведения, которые имеются у разных историков относительно распространения огнестрельного оружия.

В Мадриде, во дворце Фердинандо-Нунец находят замурованные в стену стволы арабского происхождения, относящиеся к XII в. В 1232 г. монголы стреляли по китайцам из огнестрельных труб, называемых "пао". Китайцы применяли тогда боевые ракеты и бомбы в железных сосудах "йо"; их метали при помощи специальных устройств. В 1241 г. в сражении при Лингнице монголы использовали против поляков и шлезвигцев огнестрельное оружие. В Перуджии в 1364 г. было изготовлено 500 ручниц (ручные пищали), пули которых пробивали железные латы. В 1365 г. Альберт Бранденбургский защищал Эйшебек пищалями, стрелявшими свинцовыми пулями. В 1381 г. аугсбургцы имели в своём войске 36 стрелков, вооруженных ручными аркебузами. В 1383 г. ручное огнестрельное оружие применяли литовцы при осаде Трокая (война Витовта с Ягайло).

Откуда огнестрельное оружие пришло в Россию – точно неизвестно; могло с востока – от татар, кавказцев или турок, с запада – от немцев или литовцев. Но уже при обороне Москвы от татар в 1382 г. русские использовали огнестрельное оружие.

В конце XIV в. в Россию оно ввозилось из Германии через Ганзейский союз. На Украину попадало из Турции, отчасти из западных стран – Польши и Литвы, наконец, с Кавказа и из Персии, откуда и появились такие названия, как можжира, мултук, тюфяк и т.п. Можжира – древнее название мортиры – слово украинское, означает ступку, происходит от польского "моздзеж". Мултук (мултух) – восточное тюркское название оружия. "Тюфяк" – испорченное татарское "тюфнек", или турецкое "тюфенг", означает ружьё.

Профессор Рейно пишет, что ручное огнестрельное оружие появилось впервые у арабов; в XIII в. они мастерски изготовляли ружейные стволы. Арабский ученый Шемседин Моххамед описывает в XII столетии огнестрельное оружие, называвшееся "модфа". Оно состояло из короткого металлического ствола на древке. Заряжалось это подобие мортирки пороховой мякотью и метало снаряд, называвшийся "бондок", что по-арабски означает орех. Это была круглая пуля из свинца. Историк И.Чернео пишет:

“У арабов были особого рода камнемёты, изготовленные из твёрдого металла, имевшие вид просверленных палок. Из такого оружия, которое они называют карабинами, выбрасывается силой порохового огня свинцовая пуля, которая навылет пробивает человека в полном вооружении” (в доспехах).

У восточных народов существовало и другое ручное оружие, подобие огнемёта. Ствол был тонкий железный, около 180 см длиной, покрыт деревом, скреплённым верёвками, ремнями и т.п. К казённой части ствола прикреплялась рукоятка в виде деревянной палки. Оружие это последовательно снаряжали небольшим зарядом пороха, на порох укладывалась “пуля” из пакли, смешанной с порохом, воском и т.п., затем слои порошка из толченого стекла, воска, стальных опилок и селитры, далее слой пороха и т.д. Таким порядком ствол наполнялся до дульного среза. Заряд зажигался с дула, и из ствола выбрасывались с грохотом горящий состав и зажигательные пули. Арабы применяли такое оружие для военных целей до XIV в.

В XIV столетии во многих государствах появились пороховые заводы: сначала в Германии, позже во Франции, Испании, Италии, России и Англии. До этого порох изготовлялся везде кустарным способом. Зернить его стали лишь в XVI в. До этого стреляли пороховой мякотью в виде порошка, отсюда и название “порох” (прах, пыль); вначале он назывался просто “зелье”. Из-за неудобства заряжания пороховой мякотью с дульной части предпринимались попытки делать орудия казнозарядными, причём иногда только заряд размещали с казны, а снаряд с дула, но были орудия, в которых снаряд и заряд вводились с казны. По примеру орудий заряжание с казны начали тогда применять и для ручного оружия.

В 1498 г. венский оружейник Гаспар Цольнер изобрёл ствол с прямыми нарезами. Нарезы устроены были для удобства заряжания – для более лёгкой досылки туго входящей в ствол пули, а тугая пуля давала наиболее кучный бой. При заряжании часть порохового нагара уходила в нарезы. В заряженном стволе пуля прочнее держалась, не смещаясь от сотрясений, что особенно важно было для кавалерийского и охотничьего оружия. Если бой ружей с прямыми нарезами был немного лучше, чем из обыкновенных гладких стволов, то объяснялось это тем, что канал ство-

ла был более тщательно и точно изготовлен.

Некоторые историки полагают, что и винтовые нарезы изобрёл также Г.Цольнер, другие же считают их изобретателем Августа Коттера из Нюрнберга (1500–1515). Возможно, что винтовые нарезы получились случайно, при изготовлении ствола с прямыми нарезами, из-за несовершенства металлорежущих приспособлений. Наблюдательный оружейник установил, что подобные нарезы значительно улучшают кучность боя, и стал изготавливать их умышленно. Первые винтовки имели небольшую крутизну нарезов: пуля делала в стволе пол-оборота или около того.

С изобретением винтовых нарезов кучность боя и дальнобойность ружей существенно возросла (до 600 шагов). Скорострельность же была невысокой: даже хорошо обученные стрелки производили не больше одного выстрела в минуту, тогда как из гладкого ствола можно было сделать пять или шесть.

Несмотря на баллистические преимущества нарезных стволов, большая часть пехоты во всех странах было вооружена гладкоствольными ружьями, потому что нарезные стоили значительно дороже, требовали более тщательного ухода и уступали в скорострельности. При заряжании пуля нарезного ружья заворачивалась в "пластырь" (кусок просаленной прочной тряпки или тонкой кожи) и вгонялась в ствол ударами деревянной колотушки, после чего плотно вбивалась к заряду шомполом. Для удобства заряжания винтовки имели укороченный ствол, что делало их менее эффективными в штыковом бою и требовало удлинения и утяжеления штыка. Только с усовершенствованием заряжания в XIX в. винтовки поступили на вооружение всех войск.

В старину московские стрельцы носили через левое плечо берендейку с зарядцами, которые представляли собой первое подобие патронных гильз. Это были деревянные, обтянутые кожей полые цилиндры, толще пальца, закупоривающиеся деревянной пробкой. В зарядцах находился отмеренный заряд пороха. Каждый зарядец был подвешен к широкому ремню берендейки, на котором носили, кроме того, сумку с пулями, рог с порохом и натруску (малая плоская пороховница с порохом для подсыпки на полку). Впоследствии зарядцы стали носить в специальных сумках в большом количестве. Кавказцы нашивали гнёзда для заряд-

цев на верхней одежде по обеим сторонам груди. На каждой стороне было по 13 гнёзд, носили всего 25 зарядцев. в 26-м гнезде помещалось шило, служившее для прочистки запального отверстия в стволе.

В 1530-х годах в Испании появился бумажный патрон (рис. 1.1), состоявший из бумажной гильзы, в которой размещали пороховой заряд и пулю. Весь патрон был такого диаметра, что свободно входил в ствол ружья. Перед заряжанием необходимо было разорвать гильзу со стороны пороха, что делал стрелок зубами, потому что в одной руке держал ружьё, в другой – патрон; из патрона он отсыпал немного пороху на полку, весь остальной заряд высыпал в ствол, закупоривал пулей с бумажной гильзой и прибивал шомполом. Так как бумажные патроны ускоряли заряжание ружья, то впоследствии они были приняты на вооружение повсеместно в Европе.

В 1624 г. в Германии король Густав-Адольф ввёл в войсках облегчённый мушкет (12-13 фунтов), заряжавшийся бумажными патронами. В бранденбургской пехоте такой патрон был принят на вооружение в 1670 г., а во французской – в 1690 г. Он служил для заряжания ружья с дула, поэтому впоследствии он был назван дульным или шомпольным патроном (при заряжании необходим шомпол). Позже в казнозарядных кремневых и капсюльных ружьях он служил и для заряжания с казённой части. Патрон для шомпольных ружей стрелки делали сами: гильзу сворачивали из бумаги, склеивали клейстером из муки, сушили, затем засыпали порох и вставляли пулю.

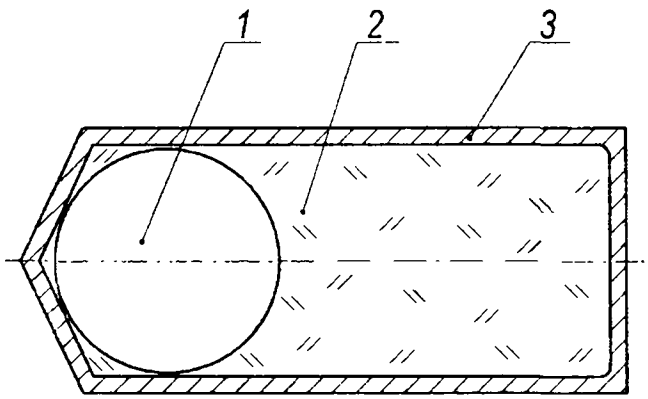


Рис. 1.1. Дульный патрон: *1* – пуля; *2* – пороховой заряд; *3* – бумажная гильза (картуз)

Попытки заряжать пушки и ружья с казны предпринимались давно: уже в 1428 г. имелось оружие, заряжаемое с казны в специальную камору. В 1537 г. в арсенале короля Генриха VIII имелось казнозарядное ружьё с колесцовым замком. В 1597 г. применялись казнозарядные мушкеты каморной системы. Казнозарядное оружие в то время не нашло широкого распространения, потому что оружейники не могли обеспечить надёжную обтюрацию пороховых газов.

С начала XVI столетия стали появляться первые многозарядные стрелковые системы барабанной конструкции. Многоствольные ружья начали применять уже в начале XV в. Были попытки ввести в войсках двуствольные и четырёхствольные ружья. Позже появились семиствольные ружья военного образца. Среди старинных многоствольных образцов имеется ружьё с восемью стволами и клеймом 1597 г.

В первой половине XVIII в. (в 1738 г.) французский оружейник Ле-Клерк выпустил лёгкие, удобные в обращении и стрельбе двустволки с двумя кремневыми замками и стволами, расположенными рядом. Такие ружья вскоре распространились среди охотников, пережили кремневую и капсюльную эпоху и в виде казнозарядных двустволок применяются в наши дни.

Пистолеты как разновидность огнестрельного оружия стали применять в разных странах Европы и Азии примерно в одно время. Наибольшее распространение они получили с изобретением колесцовых и кремневых замков. При облегчении мушкетов получались ружья уменьшенных размеров, которые стали называть мушкетонами; длина их ствола составляла примерно 30 см. Короткий мушкетон можно считать прототипом пистолета.

Пистолеты играли особую роль в кавалерии. Всаднику необходимо было иметь огнестрельное оружие, необременительное при езде, небольшое, лёгкое и дающее возможность стрелять с одной руки, так как другая управляла конём. К концу XVII в. стали появляться двуствольные и трёхствольные пистолеты со свёрнутыми стволами и кремневым замком. С 1607 г. в немецкой кавалерии были приняты на вооружение двуствольные пистолеты.

Первые образцы ружей (аркебузы, мушкеты и т.п.) применялись как для охоты, так и для военных целей. До появления дроби охотники стреляли исключительно пулями. Когда появились пер-

вые нарезные ружья, обладавшие кучным и метким боем, то они получили большую популярность среди охотников и, вероятно, вытеснили бы совсем гладкоствольное оружие, если бы не понадобилась дробь для охоты на мелкую дичь.

С появлением дроби охотничье оружие разделилось на две, резко различающиеся системы: нарезные пульные и гладкоствольные дробовые ружья. Впоследствии стали применять и смешанные типы – так называемые комбинированные или пуледробовые ружья. Использование дроби в охотничьих ружьях вызвало необходимость усовершенствования стволов. Когда стреляли исключительно пулей, то мало заботились о качестве ствольного материала и о направлении его волокон в стволе, потому что весу ствола и балансу ружья придавали мало значения, толстостенные стволы были достаточно прочными на разрыв, и беспокоиться об обеспечении высокой прочности стволов не приходилось. С распространением дроби, а с ней и нового способа стрельбы пернатой дичи влёт, для удобной стрельбы по подвижным целям потребовалось ружьё с лёгким и достаточно прочным стволом. Наиболее подходящим материалом для стволов оказался сварочный булат, названный впоследствии дамаском. Ствольный дамаск в XIX в. достиг зенита своей славы; однородная структура этого металла, вязкость, большая прочность на разрыв и красивый узор долго не имели конкурентов, пока металлургия лишь в конце XIX в. не добилась соответствующих качеств специальной ствольной стали. Усовершенствование охотничьего дробового ружья повлияло на развитие охотничьего нарезного оружия, что существенно повысило качество и боевого оружия.

Вообще боевое оружие в XVIII в. было не лучше, а хуже охотничьего. Например, австрийское пехотное ружьё 1800 г. не имело ни прицела, ни мушки, целились просто по стволу. Диаметр пули был значительно меньше калибра ствола для того, чтобы пуля в бумажном "картузе" (гильзе) свободно входила даже в загрязнённый и ржавый канал ствола. Из-за неплотной догонки пули в ствол стрельба не могла быть точной. Удовлетворительная меткость одиночного огня составляла не более 100-120 шагов. На 150, 200, а иногда и до 300 шагов стреляли лишь залпами, целым подразделением. Вес заряда первоначально был вдвое меньше веса пули. Когда стали применять зернёный порох, вес заряда

уменьшился до 1/3 веса пули. Заряжались боевые ружья дульными патронами в бумажной гильзе, которые изготавливались в полках самими стрелками; казна отпускала лишь порох и свинец, бумага покупалась на местах, пули отливались в войсках примитивными способами.

При стрельбе на скорость от хорошего стрелка требовалось произвести один выстрел в минуту и попасть в ростовую мишень на 100 шагов. Хорошо натренированный стрелок в самых благоприятных условиях мог произвести в минуту до шести выстрелов. В табл.1.1 помещены сведения о европейских ружьях военных образцов того времени.

Таблица 1.1

Характеристики пехотного оружия до конца XVIII столетия

Государство	Время введения образца	Название ружья	Калибр. мм	Вес ружья. кг	Примечание
Швейцария	1550	Мушкет	17	4.250	Во времена Морица Оранского (около 1580 г.) для заряжания мушкета и выстрела полагалось выполнить 43 приёма
Пруссия	1760-70	Кремневое ружьё	17 – 18	5,0	Вес пули 30 г, заряда 10 г. Прицельный выстрел – до 120 м. На 240 м пуля пробивала еловую доску в 5 см толщиной
Франция	1777	То же	17,7	4,0	
Австрия	1800	Пехотное ружьё	17,58	4,5	Вес пули 24,3 г. заряда 11 г. Ружьё не имеет мушки
Россия	1715	Фузея	От 19.7 до 21.5	5,5	–
Россия	1775	Мушкетон	21,5	3,0	Ружьё кавалерийское. Ствол с раструбом 25×38 мм. Заряжалось 5-7 картечинами. Заряд 6.4 г. Картечины по 4.25 г каждая
Пруссия	1800-1808	Кремневое ружьё	16,83	4,9	Пуля весит 26,3 г. заряд 9,7 г

Образцы спортивно-целевых винтовок начали определяться лишь в XIX в. Винтовки для стрельбы в цель были преимущественно охотничьего типа, реже – военного или произвольного; ствол тяжёлый, удлинённый, обладающий наилучшей кучностью, со специальными прицельными приспособлениями. Наиболее распространённые калибры – от 12,5 до 19 мм. Хорошие целевые винтовки применялись для охоты, иногда служили в качестве боевых.

Отметим, что в течение полутысячи лет, с 1300 до 1800 гг., для огнестрельного оружия применялся лишь один вид заряда – селитро-сероугольный порох. Система заряжания дульная и казнозарядная. Наиболее практичным признано было кремневое ружьё, заряжаемое с дула, имеющее воспламенение сзади-сбоку. Последним словом оружейной техники считалось казнозарядное кремневое ружьё, иногда многозарядное. С появлением ударных составов усовершенствование ружей пошло быстрее, и кремневый замок был забыт так же, как и предшественник кремневого – фитильный.

Вместе с появлением новых систем оружия стали применять различные конструкции пуль. Так, Миллер в Англии в 1822 – 1823 гг. производил опыты стрельбы из гладкоствольных ружей удлинёнными пулями, имеющими на ведущей части продольные, слегка винтовые ребра, придающие пуле вращение на полёте.

В 1828 г. Босвел испытывал разные ружейные пули для гладких стволов: пуля с хвостом из толстой медной проволоки, препятствующая опрокидыванию на полёте; яйцевидная пуля с конической тыльной частью; подобная же пуля, но со стабилизатором (рис. 1.2).

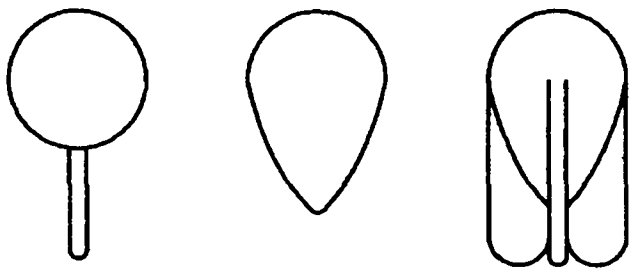


Рис. 1.2. Пули для гладкоствольного оружия: *а* – с медным хвостовиком: *б* – яйцевидная: *в* – яйцевидная пуля со стабилизатором

В 1809 г. в России испытывались чугунные пули, которые давали эффективную стрельбу на 180-210 шагов, а свинцовые – до 300-360 шагов. При стрельбе чугунные яйцевидные пули, обращенные тупым концом вперёд, летели дальше свинцовых круглых.

Изобретатель ружья и пуль французский капитан Дельвинь в 1830 г. применил разрывную пулю, но конструкция её оказалась неудачной. В том же году Нортон разработал цилиндрическую пулю с четырьмя выступами, входящими в нарезы, что должно было облегчать заряжание винтовки с дула. Лассер в 1832 г. изобрёл автоматическую пистонницу для надевания капсюля на стержень без прикосновения пальцев к капсюлю.

Ружейную ракету разработал, первоначально к охотничьему ружью, Конгрев в Англии в 1822 г., которая служила в качестве сигнального средства для иллюминации, а затем была предложена для военных ружей в качестве осветительного и зажигательного снаряда.

Английский оружейник Гринер в своей книге по оружейному делу описал сконструированную им в 1835 г. расширительную яйцевидную пулю (рис. 1.3, *а*). Принцип устройства таков: расширять пулю проще не ударами шомпола, а давлением пороховых газов при выстреле. Пуля Гринера не получила сначала распространения, но форму её в 1838 г. позаимствовал для своей пули оружейник Дрейзе в Пруссии, а идею усовершенствовал Дельвинь в 1841 г.

Наиболее удачную винтовку военного образца сконструировал в 1832 г. Бернер из Брауншвейга. Канал ствола имел два широких винтовых нареза, расположенных один против другого. Длина ствола 83,8 см, калибр 17,7 мм, замок капсюльный, вес ружья 4,8 кг, прицел подъёмный. Ружьё заряжали сферической пулей с пояском (круговой прилив должен был входить в нарезы), что значительно упрощало и облегчало заряжание.

Однако вскоре обнаружилось, что круглая пуля с пояском имеет форму, плохо приспособленную к преодолению сопротивления воздуха: после вылета из ствола она рассекает воздух ребром, но под влиянием сопротивления воздуха разворачивается наиболее широкой частью вперёд и теряет скорость. Для устранения этого дефекта изготовили в стволе четыре нареза, а сфери-

ческой пуле придали два пояска, пересекающихся под прямым углом. Однако и эта пуля оказалась неудовлетворительной, так как иногда сильно отклонялась от цели.

Стрелковая система Дельвиня была усовершенствована французским офицером Тьери. Он снабдил круглую пулю деревянным поддоном (шпигель) и просаленным пыжом (пластырь, рис. 1.3, *б*). Благодаря такому устройству пуля не попадала в камору, а просаленный пыж не допускал большого загрязнения нарезов. В 1840 г. штуцер Дельвиня с патроном Тьери был принят на вооружение французской армией. Недостаток заключался лишь в сравнительной сложности устройства специального поддона и дороговизне патрона.

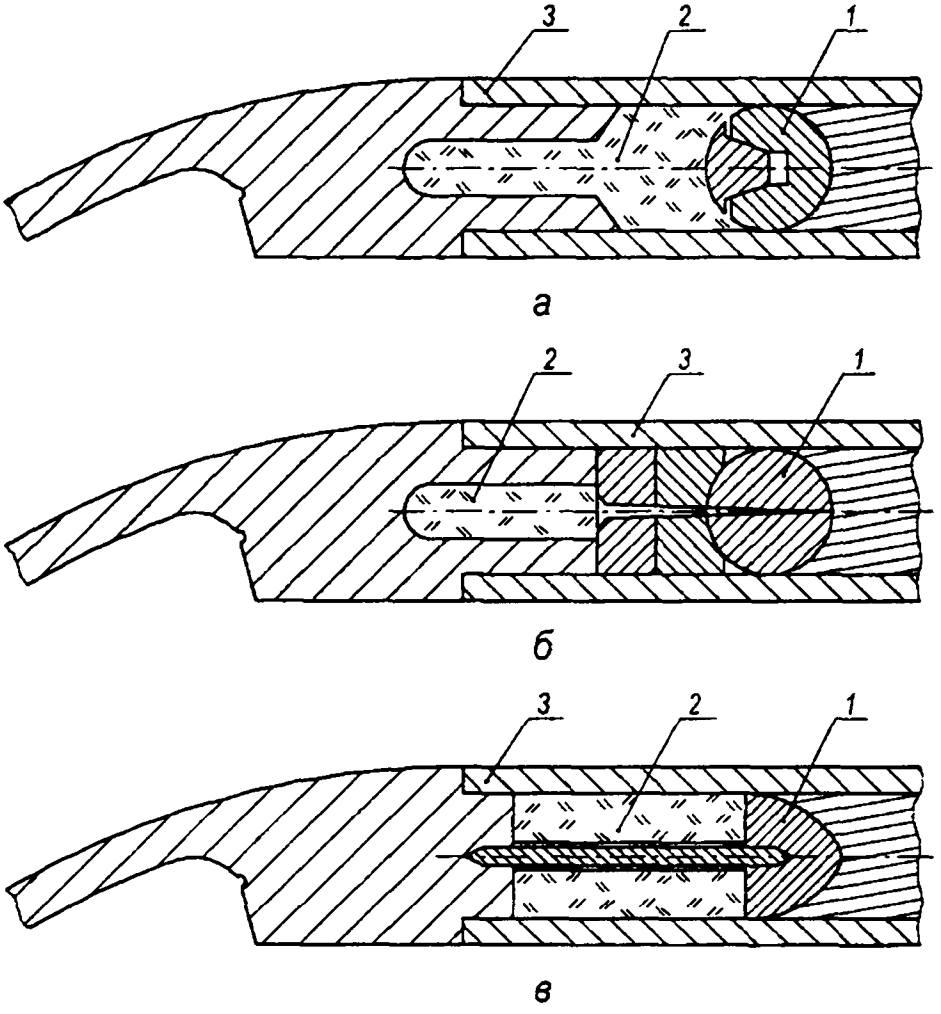


Рис. 1.3. Принцип заряжания расширительных пуль: *а* – системы Гринера обр.1835 г.; *б* – системы Тьерри обр. 1840 г.; *в* – системы Гувенена обр. 1842 г.: *1* – пуля; *2* – пороховой заряд; *3* – ствол

Ружьё Дельвиня с патроном Тьерри, или так называемый штуцер Тьери, не успел широко распространиться, потому что в 1842 г. появилась более совершенная система Тувенена. Добиваясь расширения пули в стволе посредством ударов по ней шомполом, французский полковник Тувенен предусмотрел на дне ствола стержень с заострённой вершиной. Стержень ввинчен в казенник центрально по продольной оси канала ствола. Пороховой заряд располагается вокруг стержня, а заострённая вершина стержня находится выше уровня заряда. Пуля цилиндрозаострённая, от удара шомпола насаживается на стержень, раздаётся в стороны и заполняет нарезы (рис. 1.3, *в*). Стержневая система Тувенена оказалась надёжной и практичной, потому что допускала сравнительно простую переделку старых нарезных ружей. Штуцер Тувенена с капсюльным замком был принят на вооружение во Франции, Бельгии, Пруссии, Баварии, Саксонии и других государствах. Калибр 18 мм. Начальная скорость пули – до 310 м/с.

Пулю Тувенена усовершенствовал в 1846 г. Тамизье, профессор Венсенской стрелковой школы во Франции. Он предусмотрел на её ведущей части желобки для осалки, благодаря чему ствол при стрельбе не так сильно загрязнялся и кучность не ухудшалась даже при большом количестве выстрелов (рис. 1.4, *а*).

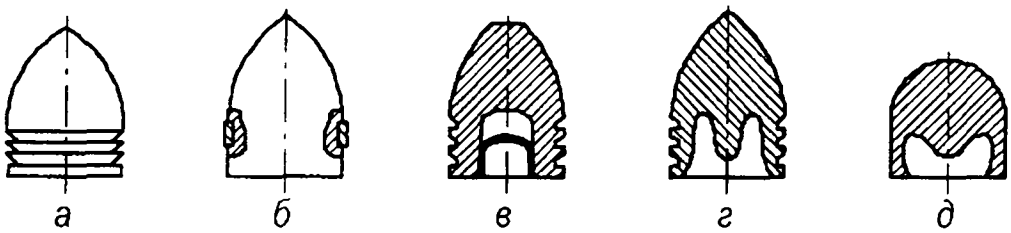


Рис. 1.4. Пули для нарезного оружия: *а* – пуля Тамизье; *б* – пуля Куликовского; *в* – пуля Минье; *г* – пуля Петерса; *д* – пуля Нейслера

Из недостатков системы Тувенена следует выделить следующие: 1) расшатывание стержня при продолжительной эксплуатации ружья; 2) трудность извлечения пули из ствола при разряжании; 3) неудобная чистка канала ствола вокруг стержня. Впоследствии для этой цели была устроена специальная протирка – лопатка, имеющая в середине паз для стержня.

В России в 1847 г. испытывались штуцеры Тувенена и пули Тамизье, но стержневая система не показала преимущества перед обычным штуцером. Поэтому было решено лишь принять для этих штуцеров цилиндроконическую пулю, сконструированную полковником Куликовским (рис. 1.4, *б*), и новый немецкий гессенский прицел. Пуля имела два выступа-прилива для ведения её по нарезам ствола. Изменения эти были утверждены в 1849 г., и впервые в русской армии появилась удлинённая пуля взамен старой сферической. Позже, в 1851 г. штуцер Тувенена всё-таки был принят на вооружение в русской армии.

Идею расширительной пули Гринера удачно осуществил французский капитан Минье в 1848 г. Суть его изобретения заключалась в том, что свинцовая пуля удлинённой формы имела сзади коническое отверстие, в которое вставлялся металлический стаканчик. Под давлением пороховых газов стаканчик, продвигаясь по отверстию вперед, расширял стенки пули, которые и заполняли нарезы (рис. 1.4, *в*).

Преимущества длинных цилиндро-заострённых пуль, или, как их называли, стрельчатых, были учтены оружейниками. Такие пули давали хорошую кучность, что особенно заметно проявлялось при стрельбе на большие дистанции. Пробивное действие пуль было более значительно, чем сферических, потому что под круглую пулю нельзя было использовать усиленный заряд, так как она срывалась с нарезов и теряла устойчивость на полёте. Под длинную же пулю заряд можно было увеличивать настолько, насколько позволяли отдача ружья и прочность ствола.

Основные преимущества новых конструкций пуль:

1. Длинная ведущая часть пули обеспечивала прочное её удержание в нарезах, что предохраняло от срывов при мощных зарядах, давало однообразный бой, а при усиленных зарядах улучшало баллистические качества оружия.

2. Хорошее врезание пули в нарезы канала ствола обеспечивало устойчивость пули на полёте, облегчало заряжания ружья в боевой обстановке (на ходу, лёжа и т.п.).

3. Увеличенный вес пули способствовал лучшему сохранению её скорости на полёте и повышению пробивного действия.

4. Остроконечная головная форма пули облегчала преодоление сопротивления воздуха.

5. Плоское и углубленное дно пули лучше воспринимало давление пороховых газов по сравнению с круглой пулей.

6. Врезание пули в нарезы предохраняло ствол от преждевременного загрязнения пороховым нагаром и засвинцевания нарезов, вследствие чего ружьё дольше сохраняло боевые качества.

Пулю Минье усовершенствовал бельгиец Петерс (1852), устроив в ней углубление с выступом (рис. 1.4, *г)* и исключив металлический стаканчик. Такая пуля хорошо расширялась пороховыми газами без какого-либо вкладыша, давала однообразный бой и была дешевле. Пули Минье и Петерса подверглись боевым испытаниям во время прусско-датской войны, причём пуля Петерса успешно выдержала эти испытания.

В Англии в 1853 г. было принято на вооружение нарезное "энфилдское ружьё" с пулей Минье. Для этого ружья было взято всё лучшее из разных образцов, предложенных несколькими изобретателями. Например, было установлено, что хвостовая часть пули Минье иногда деформируется, что вызывает резкое ухудшение кучности. Поэтому взамен металлического стаканчика был принят деревянный стержень, что упростило пулю и устранило указанные дефекты.

Хотя к 1858-60 гг. в Европе уже имелись несколько надежных казнозарядных систем, в большинстве государств старались использовать для войск оружие старых образцов путём различных усовершенствований. Например, для гладкоствольного оружия была принята новая пуля французского офицера Нейслера, значительно увеличившая дальность и кучность боя.

Пуля Нейслера (рис. 1.4, *д*) во время Крымской войны 1854-1855 гг. была принята в России для гладкоствольных ружей. Особенностью этой пули было то, что она входила в ствол с меньшим зазором. При выстреле пороховые газы расширяли пулю, прижимая её к стенкам ствола и препятствуя прорыву газов. Пуля давала кучный бой и летела головной частью вперёд. С принятием пули Нейслера старинная круглая пуля была окончательно вытеснена в гладкоствольном оружии.

Усовершенствование пули позволило довести скорость заряжания винтовок до уровня быстроты заряжания гладкоствольных ружей. При этом первые значительно превосходили вторые по дальности и кучности боя. Калибр нарезного оружия был около

18 –19 мм, масса пули – около 50 г. Оказалось, что подобные крупнокалиберные винтовки обладают сильной отдачей из-за применения тяжёлой пули. Для снижения отдачи заряд уменьшали до 1/7–1/10 веса пули. При этом ее начальная скорость не превышала 300 м/с. Тяжёлая пуля и небольшой заряд ухудшили баллистические качества нарезных ружей: увеличилась крутизна траектории и снизилась пробивная способность. Неудовлетворительные баллистические качества пуль требовали уменьшения калибра. Для получения на больших дистанциях эффективного действия пуль и исключения неизбежных ошибок в определении расстояния необходимо было увеличить, кроме начальной скорости, поперечную нагрузку пули за счёт уменьшения её диаметра.

Винтовки малых калибров, шести- и пятилинейные, обладали гораздо меньшей отдачей и лучшими баллистическими качествами: настильной траекторией, мощным пробивным действием и более кучным боем. Например, прусское ружьё образца 1841 г. имело калибр 15,53 мм, шведское 1850 г. – 12,2 мм, английское 1853 г. – 14,6 мм, австрийское 1858 г. – 14 мм, испанское 1852 г. – 15,24 мм, французское 1846 г. – 17,8 мм, а образец 1866 г. – всего 11 мм. Наименьший калибр был принят в Швейцарии (1851 г.) – всего 10,4 мм, начальная скорость пули достигала 450 м/с. В России новые капсюльные ружья образцов 1856 и 1857 гг. тоже имели уменьшенный калибр – 15,24 мм.

Осторожность, с которой различные страны при перевооружении переходили на уменьшенный калибр, объясняется следующими причинами: 1) дороговизной изготовления стволов уменьшенного калибра; 2) чувствительностью стволов к потере кучности боя вследствие их износа; 3) непрочностью бумажных патронов уменьшенного калибра; 4) более интенсивным загрязнением и засвинцовыванием канала ствола при стрельбе; 5) трудностью ухода за каналом ствола.

Одновременно с усовершенствованием капсюльных казнозарядных систем применялись казнозарядные винтовки с использованием унитарных патронов. В гильзе размещался пороховой заряд, закреплялись пуля и капсюль. Первоначально унитарный патрон, по примеру дульного, имел бумажную гильзу.

Идея унитарного патрона осуществилась давно: первое игольчатое, хотя и несовершенное ружьё сконструировал в 1808 г.

оружейник Поли в Париже. Следующим оружием под унитарный патрон было ружьё Демондиона. Эту оригинальную и весьма остроумную систему он запатентовал в 1831 г. Патрон имел специальный капсюль в виде длинной трубочки, торчащей сзади самодельного бумажного патрона (рис. 1.5, *а*). Хотя эта конструкция и не получила распространения, однако представляла собой интересное решение с точки зрения оригинальности устройства ударного и запирающего механизмов и большой скорострельности. В 1836 г. французский оружейник Лефоше изобрёл более практичное казнозарядное ружьё и унитарный патрон для него. Патрон был папковым, с латунным поддоном и торчащей снаружи боковой латунной шпилькой (рис. 1.5, *б*). При нажатии на спуск курок ударял по торчащему из ствола концу шпильки, которая накалывала находящийся в патроне капсюль, и происходил выстрел. Образец шпилечного патрона Лефоше сохранился в дробовом охотничьем оружии до нашего времени.

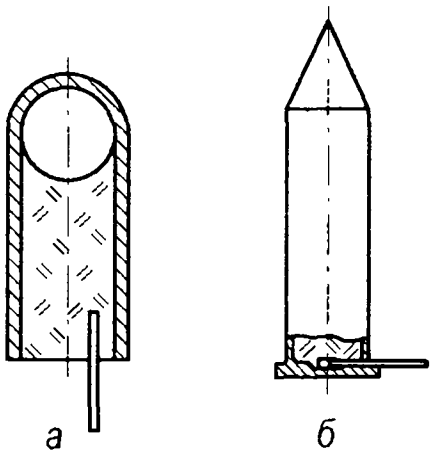


Рис. 1.5. Первые гильзовые патроны: *а* – системы Демондиона; *б* – системы Лефоше

Идею казнозарядного ружья удачно осуществил немецкий оружейник Дрейзе, выпустивший в 1836 г. своё игольчатое ружьё со скользящим затвором и унитарным патроном, бумажная гильза которого вылетала при выстреле. Первоначально была принята пуля яйцевидной формы, впоследствии она была заменена пулей системы Минье. Патрон состоял из бумажной гильзы с подклеенным картонным донцем-кружком, в гильзе – заряд пороха (вес 4,8 г), впереди заряда – папковый шпигель (поддон пули).

Пуля имела калибр 13,5 мм. Она вставлялась в глубокое гнездо папкового поддона, который врезался в нарезы, сжимая пулю и придавая ей вращение. Вес пули 30,4 г, вес патрона 40 г. Из ружья Дрейзе можно было произвести в минуту от 5 до 9 выстрелов (5 выстрелов с прицеливанием, 9 – без прицеливания). Предельная дальность полёта пули 800 м.

В 1842 г. парижский оружейник Флобер изобрёл казнозаряд-

ное ружьё для стрельбы в цель небольшим малошумным патроном оригинального устройства: в цельнотянутой медной гильзе не было пороха, но в шляпке гильзы находился гремучий состав. Курок ударял в край шляпки сбоку патронника, от этого гремучий состав взрывался и выбрасывал из гильзы помещённую в ее дульце круглую пульку, длиной около 1,25 калибра. Свои ружья Флобер выпускал трёх различных калибров: 4, 6 и 9 мм. Стволы делал гладкие и нарезные. Калибры 4 и 6 мм предназначались для комнатной стрельбы, они давали мало копоти и шума, а пулька в 6 мм на 50 шагов глубоко входила в сосновую доску. Калибр 9 мм служил для наружной стрельбы и обладал наиболее сильным боем. Подобно ружьям с аналогичным замком и под те же патроны Флобер выпустил пистолеты. Оружие Флобера было высокого качества и весьма точного боя. Благодаря простоте устройства, дешевизне патронов и слабому звуку выстрела эта система получила большое распространение и вызвала множество подражаний и усовершенствований.

Патрон Флобера по способу воспламенения называется патроном кругового или бокового огня. В истории усовершенствования патрона эта система интересна тем, что его гильза послужила образцом для металлической гильзы малокалиберного патрона. В 1856 г. Берингер усовершенствовал патрон Флобера: увеличил и упрочнил гильзу, поместил в ней пороховой заряд и удлинённую пулю. Такой патрон (рис. 1.6, *а*) вскоре получил распространение для охотничьего, целевого оружия и боевых образцов. В спортивном, охотничьем и целевом оружии патрон бокового огня служит и по настоящее время.

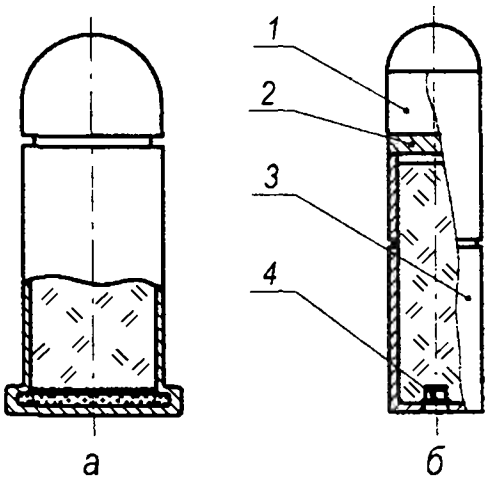


Рис 1.6. Патроны с капсюлями: *а* – бокового огня системы Берингера: *б* – центрального боя системы Шасно: *1* – пуля *2* – прокладка, *3* – гильза: *4* – капсюль

Патрон центрального боя (с расположением капсюля в центре дна гильзы) изобрёл Поттэ во Франции, затем усовершенствовал и запатентовал такую конструкцию Шнейдер (тоже во Франции)

в 1861 г. Первые образцы боевых патронов подобны охотничьим, т.е. в папковой гильзе, которая имела металлический поддон в тонкой медной, иногда в железной оправе с капсюлем в центре дна.

Английский оружейник Боксер вместо папковой гильзы предложил гильзу из свёрнутой тонкой латунной ленты. Такой составной патрон с железным поддоном был принят для английских ружей. Впоследствии, по примеру патронов бокового огня, стали изготовлять цельнотянутые латунные гильзы центрального боя.

В первых образцах игольчатых ружей был применён патрон с бумажной гильзой. Капсюль-воспламенитель размещался в дне пули. С 1866 г., по опыту Австро-Прусской войны, в большинстве армий были приняты на вооружение игольчатые винтовки с патроном, имеющим более прочную картонную гильзу, что позволяло размещать капсюль-воспламенитель в её дне. Обтюрация пороховых газов в этих образцах оружия осуществлялась весьма ненадёжно (конической поверхностью деталей затвора или каучуковыми кольцами).

Французское игольчатое ружьё системы Шаспо, образца 1866 г., калибр 11 мм, было неплохо сбалансировано, использованы лучшие достижения инженерной мысли, применены высококачественные материалы. Патрон имеет бумажную гильзу, капсюль помещён в донной её части в картонном поддоне, сзади порохового заряда (рис. 1.6, *б*). Благодаря такому устройству патрона игла ударника значительно короче, чем в предыдущих системах, и потому более долговечна. В игольчатых ружьях выбрасыватель не применялся. При выстреле гильза частью сгорала и частью вылетала из ствола; если же картонный поддон оставался в патроннике, то при следующем заряжании он проталкивался вперёд. Пуля весила 23 г, заряд пороха – 5,5 г. Предельная дальность стрельбы – до 1800 м. Начальная скорость 430 м/с. Наибольший темп стрельбы – 19 выстрелов в минуту без прицеливания, с прицеливанием – 8-10 выстрелов.

Несовершенство игольчатых ружей с бумажной или картонной гильзой привело к разработке унитарного патрона с металлической гильзой, которая получила окончательное признание после северо-американской войны 1861-65 гг. Достоинства патронов с металлической гильзой оказались весьма существен-

ными: надёжная обтюрация и воспламенение заряда, меньшая загрязнённость патронника, упрощение конструкции затвора, длительная сохранность заряда, возможность увеличения объёма зарядной каморы за счёт бутылочной формы гильзы и др.

Историческое значение конструкции металлической гильзы трудно переоценить. Она не только обеспечила надёжную обтюрацию, повысила безопасность в обращении с оружием, но и позволила существенно уменьшить калибр, повысить скорострельность, дальность прямого выстрела, убойное и пробивное действия, значительно увеличила носимый стрелком запас патронов.

В табл. 1.2 приведены характеристики некоторых боевых винтовок разных государств в период 1870–1881 гг. Скорострельность предельно возможная (без прицеливания). Стрельба с прицеливанием давала в 2-3 раза меньше выстрелов, а в боевых условиях – ещё меньше: русская винтовка Крнка давала 7-8, а Бердана 9-11 выстрелов в минуту.

Таблица 1.2

Стрелковые системы европейских государств в период 1870-1881 гг.

Государство	Система	Образец, г.	Калибр. мм	Максимальная скорострельность, мин
Россия	Баранова	1865	15.24	18
— „ —	Крнка	1869	>>	18
— „ —	Бердана	1868	10.68	18
— „ —	>>	1870	>>	28-30
Германия	Вердена	1869	11	28
— „ —	Подевиля	>>	>>	25
— „ —	Маузера	1871	>>	28
Австрия	Верндль	1867-73	>>	20
Англия	Мартини-Генри	1871	11.43	35-40
Швеция	Ремингтона	1867	11.43	38
Норвегия	Ярмана	1881	10.15	35
Дания	Ремингтона	1867	11.43	38
Голландия	Бомона	1871	11	30
Бельгия	Терсена	1848-68	11	15-18
Франция	Шасспо-Гра	1866-74	11	18
— „ —	Гра	1874	>>	30
Швейцария	Веттерли	1868	10.4	45
Италия	>>	1871-71	>>	30
Греция	Гра	1874	11	30
США	Спрингфилд	1873-80	11.43	18
Испания	Ремингтона	1871	11	38

К середине XIX в. в России сложились условия для создания, производства и применения стрелкового оружия с использованием унитарных патронов центрального боя с металлической гильзой. Производство таких патронов началось в 1869 г. на Охтинском пороховом заводе, а позднее был оборудован новый патронный завод в Петербурге, способный производить в год до 30 млн шт. патронов.

В 1891 г. капитаном С.И. Мосиным разработана и принята на вооружение русская трёхлинейная (клб. 7,62 мм) винтовка, лучшая из известных образцов того времени. Её характеристики: начальная скорость пули 610...730 м/с, дальность стрельбы 2000 м, скорострельность 18...20 выстрелов в минуту. Носимый запас патронов увеличился с 80 до 120–200 штук. Патрон с цельнотянутой латунной гильзой с закраиной (выступающим фланцем). Заряд пороха бездымный, пироксилиновый. Пуля продолговатая, тупоконечной формы, оболочечная. Оболочка изготовлялась из дорогостоящего мельхиора, сердечник – из свинца.

Принятие на вооружение трёхлинейной винтовки С.И. Мосина потребовало разработки и доведения до высших кондиций специального унитарного патрона с латунной гильзой. Основные характеристики этого патрона сохранены, и он с биметаллической гильзой применяется и в наши дни для снайперского и автоматического оружия.

Важным этапом в совершенствовании патронов и баллистических качеств оружия явилось получение бездымного пироксилинового пороха пиротехником Г. Г. Сухачёвым в 1887 г. Знаменитый русский учёный Д.И. Менделеев изобрёл в 1890 г. особую форму пироксилина – пироколлодий – и разработал наиболее совершенный пироколлоидный порох и технологию его изготовления. Применение бездымного пороха позволило перейти к ещё меньшему калибру (6,5–8 мм), повысить баллистические характеристики выстрела, увеличить боезапас стрелка.

Для большинства стрелковых систем применялись свинцовые безоболочечные пули тупоконечной формы, несовершенные в баллистическом отношении. При увеличении давления пороховых газов с целью повышения начальной скорости свинцовые пули срывались с нарезов и дестабилизировались на полёте. Изменение режима выстрела заставило отказаться от свинцовых

пуль и перейти на пули оболочечные, с врезанием оболочки в нарезы канала ствола.

Успех баллистической науки, поиск лучшей формы привели к разработке остроконечных пуль. Остроконечная, более обтекаемая оболочечная пуля (лёгкая, $m_п$=9,6 г) была предложена капитаном Г.П. Киснемским в 1894 г., но только в 1906 г. была создана специальная комиссия по разработке такой пули, которая в 1908 г. была принята на вооружение русской армии. Первоначально для оболочек применяли медь, мельхиор, впоследствии – томпак, биметалл и мягкую сталь. Последующая разработка тяжёлой пули и специальных пуль, изменение материалов, элементов конструкции и технологии изготовления лишь приводили в соответствие с современными требованиями винтовочный патрон как основной для винтовок, карабинов и пулемётов

В период Первой мировой войны стрелковое оружие российской армии отличалось разнообразием, несистематизированностью и во многом зависело от зарубежных поставок. На вооружении находилось более 12 различных образцов винтовок, из которых лишь две отечественного производства (винтовки Мосина и Бердана), четыре системы станковых пулемётов и четыре ручных. Эти образцы оружия к тому же имели различные калибры. Однако в этот же период были опробованы винтовочные патроны с пулями специального действия: бронебойными, зажигательными, трассирующими.

К 30-м годам, перед Второй мировой войной основой системы патронов стрелкового оружия являлся винтовочный патрон клб. 7,62 мм с лёгкой оболочечной пулей и латунной гильзой. В это время были проведены работы по его усовершенствованию, освоено производство гильз и пульных оболочек из биметалла (стали, плакированной томпаком), свинцовый сердечник заменен стальным со свинцовой рубашкой. Под винтовочный патрон, кроме винтовки Мосина обр. 1891/30 гг., были разработаны автоматические винтовки Симонова АВС-36, самозарядная винтовка Токарева СВТ-40 и ручной пулемёт Дегтярёва, явившийся первым советским образцом стрелкового автоматического оружия.

С целью увеличения прицельной дальности стрельбы в 1930-1932 гг. был разработан патрон с тяжёлой пулей ($m_п$=11,7 г) для ведения огня из станковых пулемётов на дистанции более 1000 м.

Для поражения бронированных целей были созданы патроны клб. 7,62 мм с бронебойной (Б-30), бронебойно-зажигательной (Б-32), трассирующей (Т-30), бронебойно-зажигательно-трассирующей (БЗТ) и пристрелочно-зажигательной (ПЗ) пулями.

Разработанные в 1930-1940 гг. патроны клб. 7,62 мм применялись для специального автоматического оружия: авиационных, танковых, зенитных образцов, характеризующихся высоким темпом стрельбы. В 1932 г. принят на вооружение первый в мире авиационный пулемёт ШКАС клб. 7,62 мм (Шпитальный, Комарницкий авиационный, скорострельный). Патрон к этому пулемёту отличался усиленным креплением пули в дульце гильзы (для предупреждения распатронирования при досылании патрона) и более надёжным креплением капсюля-воспламенителя в дне гильзы для предупреждения его выпадения при подаче.

Особым этапом в развитии отечественных боеприпасов следует считать разработку крупнокалиберных патронов для борьбы с бронированными целями противника. Были созданы патроны клб. 12,7 мм с бронебойной (Б-30) и бронебойно-зажигательной (Б-32) пулями со стальным закалённым сердечником, свинцовой рубашкой и пульной оболочкой из плакированной томпаком стали. В 1939 г. принят на вооружение крупнокалиберный пулемёт клб. 12,7 мм ДШК (Дегтярёв, Шпагин, крупнокалиберный). Пулемёт и патрон к нему были лучшими в мире: на дистанции 500 м пуля пробивала броню толщиной 15 мм.

В 1934 г. на вооружение был принят 12,7-мм авиационный пулемёт ШВАК (Шпитальный, Владимиров, авиационный, крупнокалиберный), в котором применялись надёжно действующие патроны с пулями Б-30 и Б-32.

В первые месяцы Великой Отечественной войны были разработаны и запущены в производство крупнокалиберное 14,5-мм однозарядное ружьё В.А. Дегтярёва (ПТРД) и пятизарядное противотанковое ружьё С. Г. Симонова (ПТРС). Для стрельбы из ПТРД и ПТРС применяли 14,5-мм патроны с бронебойно-зажигательной пулей, имеющей стальной (Б-32) или металлокерамический (БС-41) сердечник. Патроны БС-41 предназначались для стрельбы только по танкам.

В период Великой Отечественной войны вторым по значимости и применяемости после винтовочного патрона являлся писто-

летный патрон клб. 7,62 мм, принятый на вооружение для пистолета ТТ-30 (конструкции В.Е. Токарева) и для пистолетов-пулемётов – нового вида автоматического стрелкового оружия. Высокие боевые возможности пистолетов-пулемётов, особенно в условиях ближнего боя, в сочетании с простотой устройства способствовали широкому распространению этого вида оружия пехоты.

Первым из серии пистолетов-пулемётов был образец конструкции В.А. Дегтярёва (ППД-34), положительные качества которого оценены в боевых действиях с финнами в 1939-40 гг. Его усовершенствованный вариант (ППД-40) принят на вооружение в 1940 г.

В 1941 г. был разработан ещё более совершенный образец – пистолет-пулемёт ППШ-41, конструкции Г.С. Шпагина. По кучности стрельбы (на 70% выше, чем у ППД-40), высокой технологичности изготовления, простоте устройства и безотказности действия он стал одним из самых популярных образцов стрелкового оружия в Великую Отечественную войну.

Для связистов, танкистов, разведчиков, сапёров в 1943 г. был принят на вооружение третий из серии пистолетов-пулемётов – ППС-43 конструкции А.И. Судаева.

К 1943 г. номенклатура пистолетных патронов пополнилась патронами с трассирующей пулей и пулей со стальным сердечником. Пистолетный патрон стал самым массовым в стрелковом оружии.

Однако, вследствие его малой мощности, эффективность стрельбы им (около 200 м) оказалось недостаточной, в то время как мощность винтовочного патрона была излишне большой. Поэтому было принято решение о создании для автоматов нового базового патрона со средними между пистолетными и винтовочными патронами баллистическими и боевыми характеристиками. Такой патрон клб. 7,62 мм, получивший наименование "промежуточного", был разработан в короткие сроки и в 1943 г. принят на вооружение. Патрон испытывался в нескольких вариантах, и лучшим был признан образец, разработанный Н.М. Елизаровым и Б.В. Сёминым. В этом патроне предусмотрено использование пуль со стальным сердечником, трассирующей и бронебойно-зажигательной.

Под промежуточный патрон обр. 1943 г. были разработаны и освоены в производстве образцы стрелкового оружия: ручные пулемёты В.А. Дегтярёва (РПД-44), М.Т.Калашникова (РПК и РПКС) и самозарядный карабин С. Г. Симонова (СКС-45).

Наряду с модернизацией принятого на вооружение перед Великой Отечественной войной крупнокалиберного 12,7-мм пулемёта ДШК, в 1944 г. разработан и освоен в производстве более мощный и эффективный пулемёт клб. 14,5 мм конструкции С.В. Владимирова (КПВ). Для стрельбы из него применялись те же патроны, что и в противотанковых ружьях ПТРД и ПТРС, которые были сняты с вооружения в 1945 г.

Одним из важнейших элементов современного патрона является гильза, которая не только объединяет все составляющие выстрела в единое целое, но и обеспечивает надёжную обтюрацию пороховых газов. Основы теории функционирования и расчёта гильз заложены в трудах отечественных учёных и специалистов: А.Г. Матюнина, А.А. Благонравова, А.Н. Ганичева, В.М. Кириллова, М.И. Свердлова и др.

Анализ опыта Второй мировой войны послужил мощным импульсом для теоретических и экспериментальных изысканий в области создания новых конструкций боеприпасов, усовершенствования технологии их изготовления, применения новейших материалов.

Создание нового патрона – явление сравнительно редкое. Однако оно связано с наиболее существенными, качественными изменениями в системе стрелкового вооружения. И в зависимости от того, как глубоки могут быть эти качественные изменения, какими преимуществами может обладать новое оружие, и решается главный вопрос – принимать на вооружение новый патрон или нет.

Опыт применения автоматного патрона обр. 1943 г., анализ перспективных требований, предъявляемых к патронам и стрелковому оружию в целом, результаты научных и экспериментальных исследований послужили основой для разработки в 1974 г. нового малоимпульсного патрона клб. 5,45 мм с пулями двух вариантов: трассирующей и со стальным сердечником. Основное достоинство этого патрона и оружия состоит в малом импульсе отдачи, в 2,5 раза меньше, чем у винтовочного патрона клб. 7,62 мм. Патрон обеспечивает устойчивость оружия при стрель-

бе, что повышает кучность боя, увеличивается настильность траектории. Оружие отличается малой массой, надёжностью и маневренностью; обеспечивается высокое поражающее действие пули на дальностях 300...500 м; увеличивается носимый стрелком боекомплект; достигается значительный экономический эффект по расходу материала при изготовлении патрона. Разработка малокалиберного патрона к автомату М.Т. Калашникова (АК-74) и ручному пулемёту (РПК-74) выполнена коллективом конструкторов под руководством В.М. Сабельникова.

После Великой Отечественной войны приняты на вооружение и другие образцы патронов и стрелкового оружия.

С целью увеличения останавливающего действия в 1951 г. разработан самозарядный пистолет Н.Ф. Макарова клб. 9 мм (ПМ). В этом же году принят на вооружение и автоматический пистолет И.Я. Стечкина того же калибра (АПС). Патрон к пистолету ПМ имеет меньшую длину, чем к пистолету ТТ. Пуля оболочечная, тупоконечная со свинцовым сердечником. Весьма эффективной оказалась и трассирующая пуля, разработанная конструкторами НИИ, руководимого В.М. Сабельниковым.

Постоянно проводились работы по совершенствованию патронов и оружия базовых калибров 7,62, 12,7, 14,5 мм.

В связи с унификацией оружия системы М.Т. Калашникова в 1962 г. принят на вооружение танковый пулемёт ПКТ-7,62, затем также танковый пулемёт ДШКТ-12,7. Характерной особенностью пулемётов М.Т. Калашникова являлось отсутствие таких недостатков, как поперечный разрыв гильз и распатронирование при досылании.

В 1968 г. впервые в авиационных пулемётах применена конструкция оружия с блоком вращающихся стволов. Пулемёт ЯКБ-12,7 (А.И. Яковлев, С.А. Борзов) отличается высокой скорострельностью и надёжностью. В нём применяются обычные патроны с бронебойно-зажигательными пулями и двупульные патроны оригинальной конструкции. В его разработке участвовали В.М. Сабельников, П.Ф. Сазонов и др.

В 1972 г. разработан патрон клб. 12,7 мм с новой бронебойно-зажигательной пулей повышенной эффективности бронебойного действия, имеющей металлокерамический сердечник. Конструкторы – К.В.Смекаев, В.М. Бобров, Ю.С. Ветчинкин.

В период Второй мировой войны двигатели боевых и вспомогательных машин и авиации использовали легковоспламеняющийся бензин, и все зажигательные пули конструировались для этого топлива. Современные боевые машины используют трудновоспламеняемое дизельное топливо, и пули старых конструкций неспособны поджигать его.

Первые образцы патронов с повышенной зажигательной способностью разработаны конструкторами Ульяновского патронного завода. В 2001–2003 гг. приняты на вооружение 14,5-мм патроны с пулями МДЗМ и БЗТМ (конструкторы А.Б. Заволокин, Б.Р. Гринберг, Б.Н. Вытягов).

За последние 70 лет в России лишь четыре раза принимался на вооружение новый патрон (исключая пистолетные патроны): в конце прошлого века – 12,7-мм, в 30-х годах – 14,5-мм, во время Великой Отечественной войны – патрон 7,62-мм обр. 1943 г., 5,45-мм обр. 1974 г. Новые патроны редко разрабатываются и принимаются на вооружение редко не из-за отсутствия потребности в их совершенствовании, а из-за ограниченности условий для этого. Недопустимо, например, изменение формы и размеров патрона, исключающее применение его для стрельбы из ранее изготовленных образцов оружия. Такие изменения конструкции были бы равносильны принятию нового образца оружия. Поэтому патрон оказывается наиболее устойчивым "консервативным" элементом в системе стрелкового вооружения. Если образцы оружия могут непрерывно совершенствоваться, заменяться образцами новой конструкции, то с патроном так поступать невозможно. Допустимы лишь такие изменения в его конструкции, которые не меняют его наружные размеры и форму и не исключают применение для стрельбы из ранее изготовленного оружия.

К настоящему времени в нашей стране установилась базовая система, определяющая номенклатуру патронов стрелкового оружия. Её составляют:

- 7,62-мм винтовочный патрон;
- 5,45-мм автоматный (малоимпульсный) патрон;
- 9,0-мм пистолетный патрон;
- 12,7- и 14,5-мм крупнокалиберные патроны.

Все патроны перечисленных калибров применяются во многих образцах оружия различного назначения, которые состоят на вооружении пехоты, авиации, танков, кораблей, зенитных установок и т.д.

Ограниченность условий последующего совершенствования конструкции патрона объективно требует проводить процесс разработки нового патрона со всей тщательностью и ответственностью. Этому обычно предшествуют глубокие и всесторонние теоретические исследования, обоснование наивыгоднейших параметров нового патрона. На основании таких исследований проводятся опытно-конструкторские работы, задачей которых является проверка процесса изготовления патрона с заданными параметрами и его возможностей стрельбой. Результатом такой работы является создание тактико-технических требований к новому патрону, на основании которых он и изготавливается.

Наиболее важными качествами патрона являются его баллистические возможности, эффективное действие по целям, надёжность, габариты и вес, определяющие ёмкость питания в автоматическом оружии и размеры боевых комплектов. Оптимальное сочетание высоких баллистических и боевых качеств патрона с минимальными размерами и весом – основная задача при создании нового патрона. Многовариантное решение этой задачи позволяет найти оптимальные параметры патрона по калибру, массе и форме пули, её начальной скорости, обеспечивающие высокую эффективность действия и надёжность функционирования отдельных элементов и патрона в целом.

2. КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТРОНОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

2.1. Характеристика стрелкового комплекса "оружие – патроны"

Основным назначением боевого стрелкового комплекса является поражение живой силы и боевой техники противника. В более широком смысле стрелковые комплексы могут решать и другие задачи и в зависимости от этого подразделяются на боевые, гражданские и служебные.

Исходя из условий выполнения боевых задач стрелковые комплексы "оружие – патроны" можно подразделить на:

– основное оружие, применяемое в частях мотопехоты, воздушно-десантных войсках, в частях морской пехоты, пограничных подразделениях и специальных частях внутренних войск: автоматы и автоматические винтовки, ручные пулемёты, снайперские винтовки;

– огневые средства усиления – оружие, предназначенное для усиления огневой мощи боевой техники: курсовые и спаренные с пушкой пулемёты на танках и пулемётные установки на вертолётах и боевых машинах пехоты;

– вспомогательные, предназначенные, в основном, для самообороны и выполнения специальных задач: пистолеты, револьверы, пистолеты-пулемёты, укороченные варианты автоматов, различные виды специального оружия.

Гражданские стрелковые комплексы "оружие – патроны" предназначены для самообороны, занятий спортом и охотой и включают оружие с нарезными, гладкими стволами и бесствольное. Основные требования к этим комплексам – гарантия безопасности в обращении и эксплуатации, исключение режима автоматической стрельбы. Патроны не должны иметь бронебойного, зажигательного, разрывного и трассирующего действий, сердечники пуль должны изготавливаться не из твёрдого металла. Пороховой заряд патронов регламентирован, обеспечивает сравнительно небольшую дальность полёта пули (снаряда), гарантирует прочное функционирование гильз при выстреле и надёжную их экстракцию.

Служебные стрелковые комплексы "оружие – патроны" предназначены для оперативного использования должностными лицами, которым по законодательству Российской Федерации разрешено ношение и применение огнестрельного оружия. Здесь кроме требований, указанных для гражданского стрелкового комплекса, должна обеспечиваться ещё минимизация рикошета пуль, исключающая поражение лиц, случайно оказавшихся в зоне стрельбы. Для служебных целей используют гладкоствольное и нарезное оружие с дульной энергией, не превышающей 300 Дж.

2.2. Концепция применения стрелковых комплексов "оружие – патроны"

Военной доктриной Российской Федерации на силы и средства общего назначения возлагается до 30% боевых задач. Это определяет ту важную роль, которая отведена стрелковому оружию и боеприпасам к нему в формулируемой государственной программе вооружений. Для основного оружия, средств огневого усиления и вспомогательного разрабатываются методики их тактического и оперативного применения.

В тактико-технических заданиях (ТТЗ) на разработку систем "оружие – патроны" и тактико-технических требованиях (ТТТ) по их эксплуатации регламентируются дальность эффективного поражения противника, характеристика цели поражения и средства её защиты, боевой комплект боеприпасов, масса и габариты оружия и патронов, требования безотказности и безопасности в служебном обращении.

По классификации ЦНИИ 3 МО РФ поражаемые цели можно подразделять на следующие основные группы:

- 1-я группа – живая сила, оснащенная индивидуальными средствами защиты (бронежилеты);
- 2-я группа – боевые расчеты, оснащённые индивидуальными средствами защиты, с групповыми огневыми средствами;
- 3-я группа – небронированная и легко бронированная техника (БМП, БТР, САУ, ЗСУ, вертолёты).

Критерием поражения цели боевыми патронами является потеря объектом функциональных свойств, лишение его подвижности и определяется типом поражения. Тип поражения характери-

зуется временем, в течение которого объект (цель) в результате огневого воздействия не может выполнить боевую задачу:

• А – вывод объекта (цели) из строя на время 7 суток и более, т.е. невозможность участия объекта в дальнейших боевых действиях на время армейской операции;

• В – вывод объекта (цели) из строя на время более 1 суток, т.е. невозможность его участия в дальнейших боевых действиях на время боя дивизии;

• С – вывод объекта (цели) из строя на время 3 часов и более, т.е. невозможность его участия в боевых действиях подразделения.

В соответствии с приведённым условным разделением целей на три группы и типами поражения принято, что 1-я группа, состоящая из одиночных живых целей, оснащена бронежилетами и бронешлемами, обеспечивающими защиту на дальностях 10...100 м от автоматных пуль (V_0=1000 м/с) и винтовочных пуль (V_0=850 м/с). Типовыми целями 2-й группы являются объекты 1-й группы и образцы группового оружия, находящиеся на открытой местности и в окопе. Типовые цели 3-й группы – боевые машины пехоты (БМП), бронетранспортёры (БТР), вертолёты и т. п., которые имеют бронезащиту, обеспечивающую защищенность от пуль стрелкового оружия и осколков артиллерийских снарядов. Эти объекты могут быть поражены снарядами артиллерии и бронебойными пулями патронов клб. 7,62, 12,7 и 14,5 мм. При этом основными поражающими факторами, воздействующими на экипаж и оборудование боевых машин, являются осколки снарядов и брони. Даже при непробитии брони может образоваться поток осколков от ее тыльной поверхности, движущийся с большой скоростью (до 500...600 м/с) и поражающий запреградное пространство.

Поражение указанных целей из снайперского оружия крупного калибра может быть осуществлено при стрельбе по уязвимым местам: приборам наблюдения, прицелам, слабо бронированным элементам корпуса. При этом под поражением понимается нанесение цели такого ущерба, который приводит к временной утрате основных боевых свойств: способности ведения огня и подвижности.

Концепция применения служебного оружия базируется на основных положениях закона об оружии Российской Федерации и приказа № 578 от 3.08.2003 г., нового перечня вооружения и пра-

вил использования огнестрельного оружия. Концепция применения служебного оружия определяется задачами, которые решают военизированные подразделения:

– несение охранной службы;

– профилактика и предотвращение столкновений граждан с представителями власти;

– оперативно-розыскная работа;

– проведение операции по задержанию и уничтожению банд-формирований.

В соответствии с указанными задачами подразделения МВД, ФСБ и др. должны обеспечиваться соответствующими видами огнестрельного оружия и боеприпасов. Несение охранной службы предполагает нечастое применение оружия, использование его как символа власти и в критических ситуациях применение его как сигнального (предупредительный выстрел), а в редких случаях – стрельбу на поражение. Для этих целей возможно применение автоматического оружия: пистолетов-пулемётов, автоматических винтовок, пистолетов и патронов с пулями обыкновенного действия (двухэлементных, трёхэлементных).

При обеспечении порядка на улицах, предотвращении столкновений людей с правоохранительными органами и т. п. наиболее целесообразно применение огнестрельного оружия (пистолетов) и патронов с резиновыми, пластиковыми пулями или же устройств, выстреливающих слезоточивым, нервно-паралитическим и другими видами газов, а также производство шумовых, световых и других шоковых эффектов.

Для проведения оперативно-розыскных мероприятий, выявления нарушителей и преступников используют, как правило, пистолеты, снабженные патронами с пулями обыкновенного действия. Это позволяет в критической ситуации осуществлять предупредительный огонь и вести стрельбу на поражение.

При проведении операций по задержанию и уничтожению бандформирований нередко возникают ситуации, когда противник оснащён индивидуальными средствами защиты, подвижным транспортом и готов встречно использовать огнестрельное оружие. Поэтому спецподразделения должны быть оснащены как личным, так и автоматическим оружием, включая ручные и станковые пулемёты. В таких случаях для уничтожения противника

требуется применение патронов со специальными пулями, способными пробивать бронежилеты, обшивку и резину автомобилей, а также шокировать противника вспышкой зажигательного состава. Концепция использования служебного оружия должна исходить из конкретно поставленных задач и определять как оружейный арсенал, так и количество и виды боеприпасов.

В соответствии с назначением гражданское оружие подразделяют на спортивное, охотничье и оружие самообороны, и его использование также регламентируется основными положениями "Закона об оружии" Российской Федерации. Спортивное оружие предназначено для тренировки спортсменов и проведения соревнований. Гладкоствольное оружие и патроны с дробовым снаряжением применяют для стендовой стрельбы по летящим керамическим тарелочкам, оружие с нарезными стволами и пулевыми патронами – для выполнения различных стрелковых упражнений и поражения неподвижных мишеней. Патроны к спортивному оружию отличаются высокой сбалансированностью заряда и снаряда, повышенной точностью изготовления отдельных элементов.

Охотничье оружие предназначено для охоты на зверей и птиц. Из гладкоствольных ружей стреляют специальными патронами, которые снаряжают дробью различного размера (номера), картечью и пулями. Прицельная дальность стрельбы, как правило, не превышает 30...50 м. Нарезное оружие применяют для охоты на среднего и крупного зверя, при этом используют мощные патроны с экспансивными (разворачивающимися при соударении с целью) пулями. Такие пули наносят тяжёлые ранения и исключают потерю подранка.

Реализация концепции использования всех видов стрелковых комплексов "оружие – патрон" предполагает постоянное их совершенствование, основными направлениями которого для боевого оружия являются следующие:

– увеличение дальности эффективной стрельбы;
– повышение пробивного и поражающего действий пуль;
– увеличение плотности огня для зенитных и авиационных систем;
– повышение кучности боя патронов;
– уменьшение габаритных размеров, как оружия, так и боеприпасов.

В своё время принятие на вооружение автомата АК-74 клб 5,45 мм и малоимпульсного патрона к нему предопределило ряд преимуществ перед автоматом Калашникова обр. 1947 г.:

– более устойчивая в баллистическом отношении пуля, имеющая минимальное боковое отклонение на траектории полёта;

– высокое поражающее действие пули при небольшой её массе, обеспечивающее снижение импульса отдачи на 40%;

– значительная дальность прямого выстрела (более 300 м);

– возможность выноса трассы, что исключают демаскировку стрелка;

– уменьшение массы стрелкового комплекса и увеличение носимого боекомплекта.

Аналогичные работы в этом направлении проведены в странах НАТО, где на вооружение принята автоматическая винтовка М16 клб 5,56 мм.

Повышение поражающего действия пуль ведётся с учётом появления и постоянного совершенствования индивидуальных средств защиты и броневой защиты боевых машин.

2.3. Характеристика средств индивидуальной защиты и броневой защиты боевых машин

Для защиты личного состава военных подразделений и правоохранительных органов в боевых условиях используют различные виды бронежилетов, которые по уровню обеспечения защиты подразделяются на две группы.

Первая группа – тканевые бронежилеты, которые делятся на два класса. Бронежилеты первого класса изготавливаются из 7...10 слоёв ударопрочной ткани и снабжены амортизирующим слоем. Такая конструкция обеспечивает защиту от холодного оружия, мелких осколков и пуль, скорость которых не превышает 300 м/с. Масса жилета – до 2 кг. Бронежилеты второго класса имеют большее количество ударопрочной ткани и более толстый амортизирующий слой, обеспечивающие защиту от пуль, имеющих скорость 380...420 м/с и более. Масса – 2,5...3,0 кг. Бронежилеты первой группы используются сотрудниками правоохранительных органов, а иногда и гражданскими лицами.

Вторая группа бронежилетов, имеющая более мощный металлический защитный слой, также делится на два класса. Конструк-

тивной особенностью бронежилетов этой группы является то, что их основу составляет многослойная ударопрочная ткань, но дополнительно в карманы вставлены жёсткие керамические или металлические панели. Жилеты первого класса этой группы имеют массу 5...8 кг и защищают от пуль малоимпульсных патронов, летящих со скоростью до 950 м/с. Бронежилеты второго класса снабжены ещё более толстыми (до 18 мм) и прочными (HRC 60) панелями, способными защищать от винтовочных пуль клб. 7,62 мм, имеющих скорость 890 м/с. При этом защитная панель выдерживает до четырех попаданий. В качестве материалов для панелей используют гомогенную и гетерогенную броню высокой твёрдости, титановую и комбинированную керамическую броню, включающую в себя карбид бора, нитрид аммония, борид кальция и др. Такие жилеты используют военнослужащие, принимающие участие в боевых операциях.

Из бронированных машин наиболее распространёнными в боевой обстановке являются боевые машины пехоты (БМП) и бронетранспортёры (БТР). По броневой защите они делятся на две категории: лёгкие (общий вес до 30 т) и тяжёлые (общий вес от 30...50 т). Например, БМП М2 "Брэдли", "Мардер-1", БТР М113, "МСУ-80" относят к первой категории лёгких, которые имеют бронезащиту, обеспечивающую защищённость от осколков, пуль крупного калибра и частично от снарядов малокалиберной артиллерии. Корпуса и башни лёгких машин изготавливают из алюминиевых сплавов (типа 5083, 7039, АБТ и др.), а лобовые конструкции дополнительно снабжены стальными листами высокой твёрдости. В современных конструкциях броневые элементы изготавливают многослойными (гетерогенная броня), при этом каждый слой отличается своими характеристиками прочности и пластичности. Повысить уровень защищённости помогает отделка внутренних поверхностей отсеков пластичными материалами, исключающими тыльный скол брони и образование дополнительных поражающих осколков. Средняя толщина броневой защиты составляет: для лобовых проекций – 40...50 мм, для бортовых и кормовых проекций – 15...20 мм, для участков крыши – 5...10 мм. Боевые машины пехоты категории тяжёлых (30...50 т) имеют броневую защиту, сопоставимую с защитой танка. Для них применя-

ют стальную монолитную броню с пластичным экраном и комбинированную: сталь + керамика, алюминий + сталь + кевлар.

Для поражения уязвимых мест боевых машин к стрелковому оружию разработан комплекс патронов с бронебойно-зажигательными пулями. Механизм пробития брони и запреградного действия боеприпасов будет рассмотрен ниже.

2.4. Классификация патронов стрелкового оружия

При построении классификации патронов стрелкового оружия целесообразно принять структурные признаки основных эксплуатационных свойств. В общем случае к группам эксплуатационных свойств относятся следующие (ГОСТ 22851-77):

1 - назначение изделия, определяющее основные функции, для выполнения которых оно предназначено, и обусловливающее область его применения;

2 - надёжность, характеризующая свойства безотказности, долговечности, сохраняемости и ремонтопригодности;

3 - эргономичность, определяющая работоспособность системы "человек-изделие" и учитывающая комплекс свойств человека (бойца, охотника и др.), проявляющихся в процессе эксплуатации изделия;

4 - безопасность, характеризующая особенности изделия, обусловливающие безопасность обслуживающего персонала;

5 - транспортабельность, т.е. приспособленность изделий к перемещению в пространстве без их функционального использования;

6 - экологичность, определяющая уровень вредных воздействий на окружающую среду при эксплуатации, транспортировке и хранении изделий;

7 - эстетичность, характеризующая информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции и совершенство производственного исполнения изделия.

С точки зрения классификации боеприпасов наиболее важными представляются 1-я, 2-я, 3-я, 4-я группы свойств.

Назначение как главный показатель во многом определяется задачами, которые могут быть решены при создании и использовании боеприпасов. Решение поставленных задач возможно при

эксплуатационном взаимодействии системы "оружие – боеприпас". В соответствии с этим в качестве классификационных следует принять признаки, характеризующие понятие "эксплуатация".

По основному, целевому (поражающему) назначению следует выделить боеприпасы к боевому и служебному оружию, используемому подразделениями и должностными лицами государственных органов, которым законодательством Российской Федерации разрешено применение оружия. По своему устройству патроны к служебному оружию незначительно отличаются от боевых, что позволяет принять единую структуру их классификации (рис.2.1). При построении классификации в качестве основных родовидовых признаков приняты признаки системы "оружие – боеприпас – поражаемый объект":

– оружие – его целевое назначение, мощность по величине дульной энергии, калибр, длина ствола;

– боеприпас – наличие и вид поражающих элементов, гильзы и её материал, расположение средств воспламенения;

– наличие и вид поражаемого объекта, включая степень его защищённости и среды поражения.

По мощности (величине дульной энергии) целесообразно выделить три группы боеприпасов к оружию: с малой (<2000 Дж), средней (2000...5000 Дж) и большой (>5000 Дж) дульной энергией. Принимая во внимание, что дульная энергия зависит не только от величины заряда, но и от длины ствола и калибра оружия, следует различать боеприпасы к стволь ному нарезному и гладкоствольному огнестрельному оружию (короткоствольному $К_{ст}$, длинноствольному $Д_{ст}$, малого $М_к$, среднего $С_к$ и крупного $К_к$ калибров и к бесствольному $Б_{ст}$ оружию (импульсным устройствам)).

Граничные значения калибров устанавливаются для каждого вида оружия в отдельности с учётом принятой меры измерения калибров.

По виду оружия различают боеприпасы, предназначенные для стрельбы из пистолетов (П) и пистолетов-пулемётов (пистолетные), револьверов (Р) (револьверные), автоматических винтовок (А) и пулемётов (П) (автоматные), винтовок (В) и пулемётов (П) (винтовочные), крупнокалиберных снайперских винтовок (В) и пулемётов (П) (крупнокалиберные). Для разных видов оружия могут применяться одинаковые патроны.

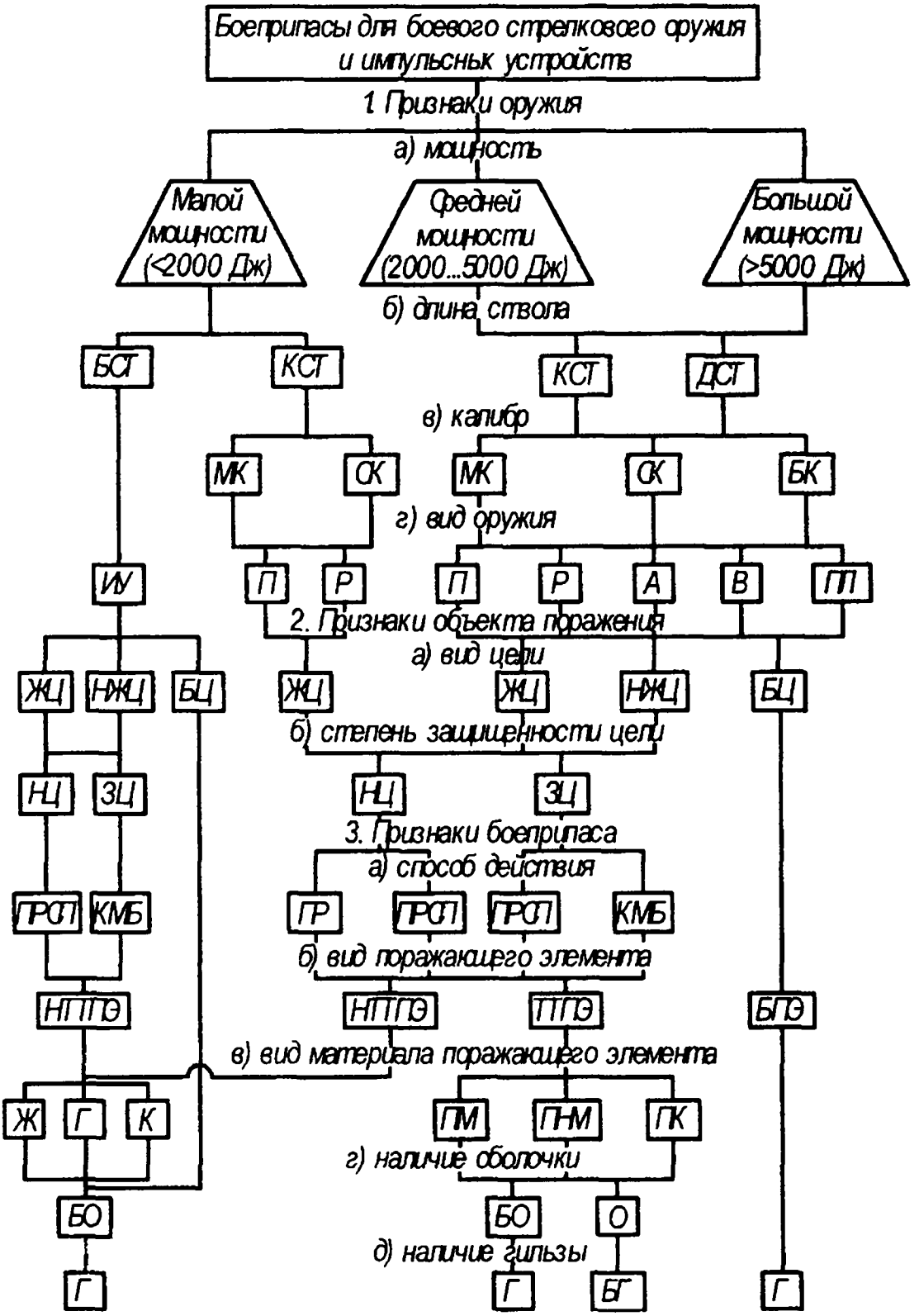


Рис. 2.1. Классификация патронов стрелкового оружия

По наличию и виду поражаемых объектов можно выделить боеприпасы, предназначенные для поражения живых (ЖЦ), неживых (НЖЦ), защищённых (ЗЦ) и незащищённых целей (НЗЦ) пулями простого, специального (ПР, ПРСП) и комбинированного (КМБ) действия. Кроме того, следует выделить группу вспомогательных патронов, которые не предназначены для поражения объектов (учебные, холостые, образцовые, высокого давления, сигнальные, смазывающие, строительно-монтажные и т.д.).

По виду метаемых поражающих элементов следует различать патроны с твёрдотельными элементами (ТТПЭ) (пулевые, дробовые, патроны с элементами из металлических, неметаллических, композиционных материалов) и нетвёрдотельными (НТТПЭ) в виде газообразных, жидких, смешанных сред, светолучевого действия и т.п.

По конструкции твёрдотельного поражающего элемента можно различать патроны с оболочечными (О), полуоболочечными (ПО), безоболочечными (БО) пулями. По наличию гильз в боеприпасе выделяют гильзовые (Г) (со стальной, латунной, биметаллической, пластмассовой, комбинированной гильзой) и безгильзовые (БГ) патроны.

По расположению средств воспламенения в гильзах к боеприпасам, в основном, небоевого оружия различают патроны центрального и бокового огня.

В каждом из вертикальных рядов структурной классификации понятия размещаются снизу вверх по возрастающей степени обобщённости от разновидности и вида до подгруппы, группы, подкласса, класса (конечный, высший уровень).

Сходимость вертикальных рядов определяет понятие "боеприпасы стрелкового оружия и импульсных устройств". В горизонтальных рядах размещаются понятия одного порядка. На высоких уровнях классификации предусмотрен учёт наиболее общих признаков (особенностей конструкции оружия), а на нижних уровнях – тех признаков, которые присущи боеприпасам, их отдельным узлам и деталям.

По совокупности эксплуатационных признаков выделены классы – к боевому и не боевому (гражданскому и служебному) оружию; подклассы – к бесствольному, короткоствольному, длинноствольному оружию малой, средней и большой мощности;

группы – к импульсным устройствам (ИУ), пистолетам (П), револьверам (Р), автоматам (А), винтовкам (В), карабинам (К), пулемётам (ПЛ) различного назначения; подгруппы – для поражения живых (ЖЦ) и неживых (НЖЦ), защищённых (ЗЩ) и незащищённых (НЗЩ) целей, и для создания определённых эффектов (световых, звуковых и пр.) без поражения целей; виды – пулевые (в том числе картечные, дробовые, иглообразные и др.), простого поражающего действия (обыкновенные, трассирующие, бронебойные, зажигательные и т.п.), пулевые комбинированного действия (бронебойно-трассирующие, бронебойно-зажигательно-трассирующие и др.), непулевые простого, специального и комбинированного поражающего и непоражающего действий (пиропатроны, смазывающие патроны, газовые и др.); разновидности – безоболочечные, полуоболочечные, оболочечные пули, гильзовые и безгильзовые боеприпасы.

Приведённая структура является классификацией открытого типа и может расширяться за счёт введения дополнительных системных признаков и сокращаться при исключении из рассмотрения некоторых из вышеописанных. Такая классификация не только упрощает ориентацию во множестве боеприпасов, но и помогает прогнозировать пути совершенствования конструкций патронов.

В качестве примеров идентификации боеприпасов к известным и создаваемым образцам оружия можно рассмотреть боеприпасы к нелетальному оружию самообороны и универсальному полицейскому оружию. Простейшим оружием самообороны, которые относятся к импульсным устройствам (ИУ), согласно классификации являются газовые баллоны (гильзовые боеприпасы), например, “Кобра 250”, “Кобра 500”, “Скорпион 5000”, “Кобра 502”, “Кобра 802”, а также аэрозольные распылители “Сирень 10”, “Сирень 10М”, “Резеда 10” и др. В последних моделях в качестве нетвёрдотельных поражающих элементов применена смесь двух сильнодействующих веществ максимально допустимой концентрации: CS_2 (сероуглерод), обеспечивающего стабильную работу баллона при отрицательных температурах и оказывающего мощное болевое и слезоточивое воздействие, и МПК (морфолид пеларгоновой кислоты), создающего сильнейший удушающий эффект. Сочетание (комбинация) этих двух разно-

родных воздействий даёт большую результативность по сравнению с эффектом от каждого взятого в отдельности вещества. Импульсные устройства типа "Резеда 10" предназначены для государственных военизированных организаций и широко применяются за рубежом исключительно в полицейских целях. Примерами боеприпасов с нетвёрдотельными поражающими элементами к ИУ дистанционного газового действия типа "Удар" служат пироликвидные беспульные гильзовые патроны. Такое импульсное устройство включает в себя специальный пистолет и пироликвидные патроны и имеет следующие тактико-технические характеристики: дальность действия – 6 м; объём распыляемой жидкости – 2 $см^3$; масса устройства – 250 г; длина устройства – 100 мм; длина патрона – 60 мм; действующее активное вещество – сероуглерод (CS_2).

Известны гильзовые боеприпасы с твёрдотельными поражающими неметаллическими элементами (резиновыми пулями) к импульсным устройствам типа бесствольного комплекса самообороны "Оса". Кинетическая энергия его 16-мм пули на дистанции 1 м составляет примерно 110 Дж. Номенклатура боеприпасов "Осы" включает также светозвуковой (комбинированного действия) и сигнальные беспульные гильзовые патроны. Первый обеспечивает яркую вспышку, сопровождающуюся звуком силой до 145 дБ. Поражающее действие определяется временным ослеплением и шоком.

Кроме того, находят применение беспульные патроны к газовым пистолетам и револьверам (отечественные модели: пистолеты ИЖ-76, ИЖ-78, ИЖ-79, револьверы РГ-22, РГ-31 и др.). Например, револьвер РГ-31 имеет модификации под 9- и 5,6-мм патроны и реализует газовый, звуковой, сигнальный эффекты.

В качестве примера идентификации новых боеприпасов по данной классификации можно рассматривать возможность создания универсального короткоствольного полицейского оружия малой мощности (пистолеты, револьверы). Универсальность его состоит в широком спектре используемых боеприпасов для поражения защищённых и незащищённых живых целей: пирожидкостные беспулевые патроны; патроны с резиновыми или пластиковыми пулями для нелетального поражения; патрон со светошумовой гранатой малых габаритов для воздействия на

психику правонарушителя; патрон со слезоточивой проникающей гранатой для поражения защищённых живых целей; красящий патрон-маркер; картечный патрон; патрон с экспансивной пулей повышенного останавливающего действия; патрон с бронебойной пулей для поражения автотранспорта и защищённых бронежилетами правонарушителей.

Различая боеприпасы по среде поражения, следует выделить патроны для подводной стрельбы. Например, английский подводный револьвер В.Барра обеспечивает беспламенную, беспузырьковую стрельбу патроном со стреловидной пулей и запиранием пороховых газов в гильзе. Другим примером оружия В.Барра служит многозарядный револьвер, стреляющий реактивными безгильзовыми патронами. Примером неогнестрельного оружия является лазерное оружие, которое может быть использовано для поражения целей в различных средах, в том числе и в космосе (лазер не дает отдачи). Принцип действия лазерного оружия основан на энергетической "накачке" рабочей среды с последующим сбросом накопленной энергии в виде когерентного электромагнитного излучения. Наиболее приемлемыми считаются два способа накопления (накачки) энергии: химический и традиционный, с использованием интенсивного светового потока. В качестве рабочего вещества может выступать либо кристалл, либо гибкий световод из особо активного волокна, а источником энергии служит разовая лампа-вспышка. Оптимальный лазерный "патрон" выглядит следующим образом: вспышка в виде вытянутого тороида (толстостенной трубки с закруглёнными краями), в середине которого вдоль оси находится цилиндрик кристалла, а снаружи плотно намотано активное волокно. При использовании револьвера применяется одноразовый барабан, выполненный как единое целое с патронами. Поражающим элементом является световой луч огромной концентрации (нетвёрдотельный элемент), способный ослепить противника, прожечь защиту, вывести из строя различные механизмы и т.д.

Приведённые примеры подтверждают возможность применения классификации не только для структурной систематизации стрелковых боеприпасов, но и для прогнозирования путей совершенствования и разработки новых разновидностей патронов.

3. РАЗНОВИДНОСТИ ПАТРОНОВ К СТРЕЛКОВОМУ ОРУЖИЮ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

3.1. Устройство и основные требования, предъявляемые к патронам

Для стрельбы из современного стрелкового оружия традиционно применяют унитарные патроны (рис. 3.1), конструкция которых включает в себя пулю, пороховой заряд, капсюль-воспламенитель и гильзу, объединяющую все элементы в единое целое.

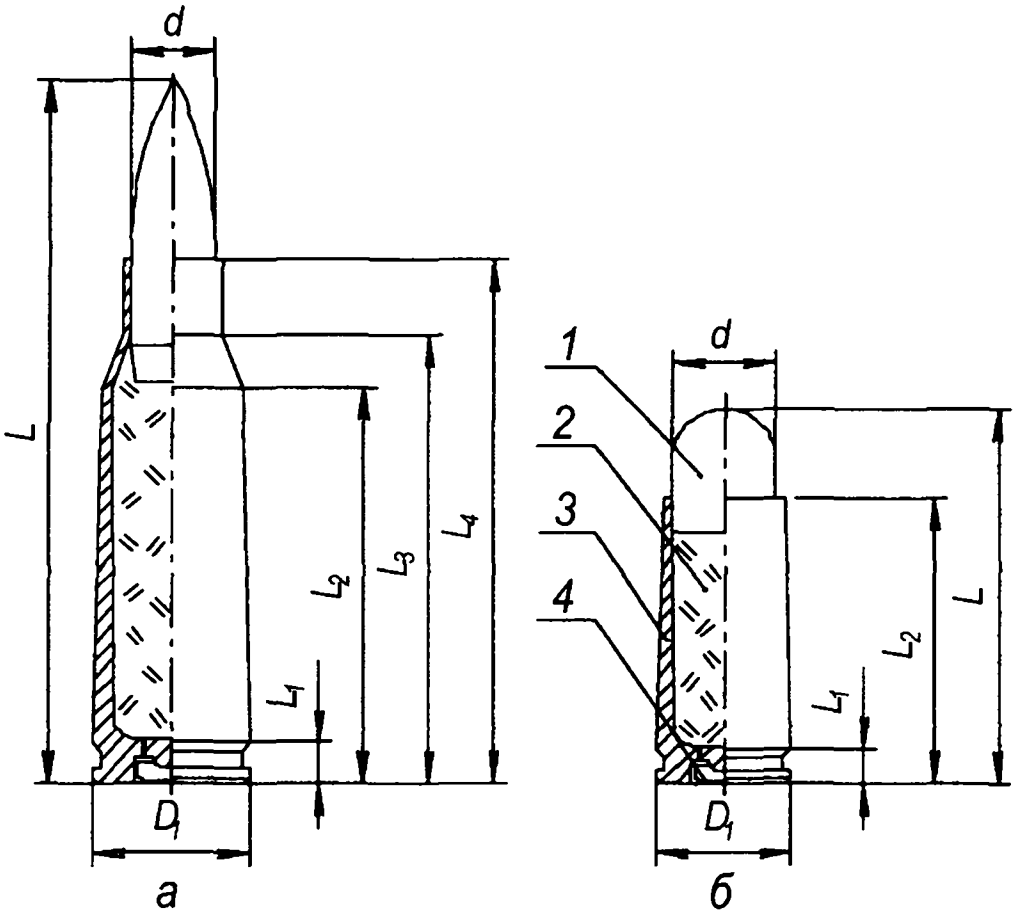


Рис. 3.1. Унитарные патроны: *а* – автоматный, *б* – пистолетный; *1* – пуля; *2* – пороховой заряд; *3* – гильза; *4* – капсюль-воспламенитель

Пуля – метаемый из ствола оружия элемент – реализует основное функциональное назначение патрона: поражение цели, т.е. убойное, останавливающее, пробивное, зажигательное и другие действия. Пороховой заряд является источником энергии для

метания пули, при скоротечном горении выделяет значительный объём газов и большое количество тепла. Капсюль-воспламенитель предназначен для воспламенения порохового заряда, обладает чувствительным к тепловому и ударному воздействию составом. Гильза предназначена для размещения порохового заряда, закрепления пули и капсюля, обеспечивает обтюрацию пороховых газов при выстреле.

Калибр для боевого, служебного и некоторых видов гражданского оружия измеряется в миллиметрах или дюймах и равен номинальному диаметру канала ствола, измеренному по полям нарезов. Например, трёхлинейная винтовка С.И.Мосина (.3 дюйма) имеет калибр 7,62 мм, автомат М.Т.Калашникова АК-74 – 5,45 мм, автоматическая винтовка М-16 – 5,56 мм (.22 дюйма), пистолет Кольт – 11,43 мм (.45 дюймов). Поэтому западные образцы оружия и патронов к ним нередко обозначают числом сотых долей дюйма: .22-й калибр (5,56 мм), .45-й калибр (11,43 мм). Нередко применяют и другие способы обозначения:

- 6,5×57R – калибр 6,5 мм, длина гильзы 57 мм с выступающим фланцем (R);
- .308 Win – калибр 0.308 дюйма, разработчик Винчестер;
- .223 Rem – калибр 0.223 дюйма, разработчик Ремингтон.

Геометрические характеристики патрона (см. рис. 3.1) определяют его надёжное вхождение в патронник и в большой мере – безотказность при стрельбе. При проектировании патрона необходимо назначить номинальные размеры и допуски на их изготовление таким образом, чтобы обеспечить гарантированные радиальные и осевые зазоры, обусловливающие свободное вхождение патрона в патронник, прочную деформацию гильзы при выстреле и её надёжную экстракцию.

Основное требование к патронам – эффективность действия по цели. Убойное действие определяется глубиной проникания в мышечную (мягкую) ткань и реализацией бокового действия, т.е. кроме раневого канала образуется зона некроза (частичного или полного омертвления) и зона молекулярного сотрясения как результат гидродинамического удара.

Убойное действие пуль в зависимости от области поражения должно обеспечиваться на следующих дальностях стрельбы: 200 м для пистолетных патронов, 1000 м для автоматных, 1500 м

для винтовочных, 2500 м для крупнокалиберных. Пули патронов должны обладать достаточным пробивным действием при стрельбе по различным преградам, в том числе и по бронезащитам. Эти требования оговариваются в ТТТ на конкретный патрон.

Трассирующие пули предназначены для целеуказания, корректировки огня, оценки оперативной и тактической обстановки. Трассирующее действие пули должно обеспечивать чётко видимую трассу с линии огня днём и ночью. Дальность трассирования, вынос трассы, её цвет определяются ТТТ на патрон. Характеристики рассеивания трассирующих пуль не должны превышать рассеивание основных пуль более чем в 1,5 раза.

Зажигательное действие специальных пуль должно обеспечивать зажжение горючего, указанного в ТТТ на патрон.

Патрон должен обладать стабильными баллистическими характеристиками. Допускаются следующие отклонения по начальной скорости пули V_0 и максимальному давлению пороховых газов:

Патрон	ΔV_0, м/с	Δp_m, МПа
Автоматный	30…40	100
Винтовочный	30…40	100
Крупнокалиберный	30…40	100

Патрон должен быть термостабильным: после нагревания до 50°С и охлаждения до −50°С с последующим доведением до нормальной температуры значения баллистических характеристик не должны изменяться.

Важнейшим требованием к оружию и патрону является обеспечение минимального рассеивания пуль при попадании в цель. Радиусы или поперечники рассеивания зависят от множества факторов, которые, в свою очередь, обусловлены конструкцией и состоянием оружия, видом боеприпаса, совершенством технологии его изготовления, условиями стрельбы.

Комплекс “оружие – патрон” считается высококачественным, если при заданных показателях эффективности реализуется минимальный импульс отдачи. Отдача оружия является результатом реактивного взаимодействия пули и ствола и зависит от конструкции оружия, скорости и массы пули. Импульс отдачи не только существенно влияет на меткость стрельбы, но и оказывает

сильное психологическое действие на стрелка. Поэтому минимальный импульс отдачи является одним из основных требований, предъявляемых к стрелковому комплексу в целом.

Безопасное обращение с оружием и патронами к нему предполагает строгое выполнение нормативных требований:

– невозможность случайного выстрела при трёхкратном перезаряжании в случае утыкания патрона в пенёк ствола;

– невозможность самопроизвольного срабатывания патронов при падении с высоты 1,5 м на бетонный пол при сохранении их функциональной пригодности;

– безопасное и надёжное функционирование патронов после 1,5 часов тряски на стандартном специальном приспособлении;

– безопасное и надёжное функционирование патронов после 180-кратного снаряжения магазинов или лент с последующим присоединением к оружию и разрядкой магазинов или лент при подаче патронов в патронник подвижными частями оружия;

– сохранение герметичности при перевозке в упаковке на дальность не менее 2000 км или после 3 часов тряски на стандартном специальном приспособлении, после 24 часов выдержки в воде или в жидкой оружейной смазке.

Патроны должны изготавливаться из недефицитных отечественных материалов, гарантирующих функциональную стабильность при хранении в складских условиях в заводской упаковке в течение 25 лет, а при хранении россыпью, в магазинах, лентах – в течение 3 лет.

Элементы патрона должны быть химически инертны, сохранять стабильные физические свойства. Конструкция патронов должна быть технологичной, пригодной к изготовлению в условиях массового производства на имеющемся оборудовании патронных, пороховых и капсюльных заводов или при минимальном изменении их основной оснащенности.

3.2. Пистолетные патроны

Пистолетные патроны предназначены для стрельбы из пистолетов и пистолетов-пулемётов (рис. 3.2) и имеют, как правило,

цилиндрическую гильзу с не выступающим за боковую поверхность фланцем. Бутылочная гильза принята лишь у некоторых образцов, например у отечественного патрона клб.7,62 мм к пистолету ТТ. Поэтому фиксация патрона в патроннике осуществляется торцом гильзы.

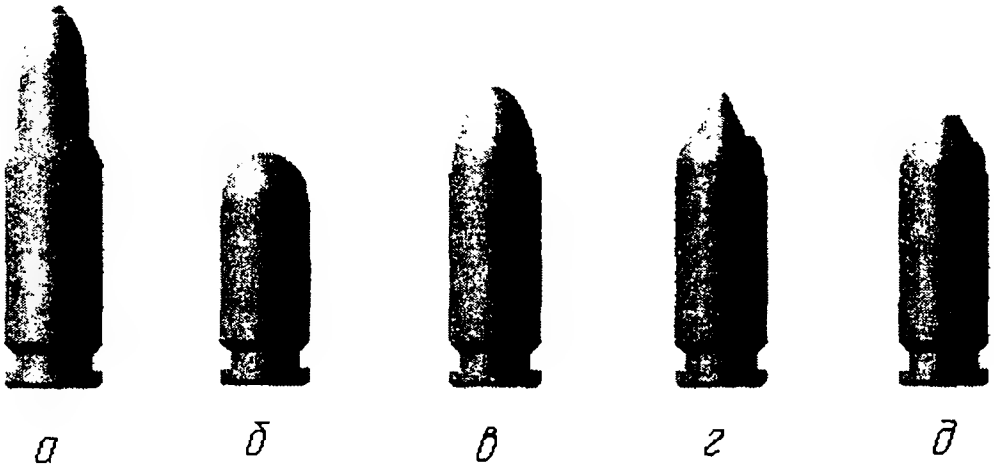


Рис. 3.2. Пистолетные патроны: *а* – 7.62-мм к пистолету ТТ; *б* – 9-мм к ПМ; *в* – 9-мм Парабеллум; *г* – 9-мм 7Н21; *д* – 9-мм 7Н31

Пистолетные патроны имеют небольшую массу, невысокую мощность, дальность прицельной эффективной стрельбы не превышает 50 м, хотя убойное действие может сохраняться до 200 м и более. Калибры существующих пистолетов находятся в широком диапазоне, однако большинство боевых пистолетов имеет калибр 9 мм, обеспечивающий эффективное действие пули по цели при небольшой массе оружия.

Пистолетные патроны подразделяются на боевые, служебные и гражданские (спортивно-охотничьи). Современные боевые патроны существенно отличаются от служебных и гражданских: они более мощные, пули снабжены термоупрочнёнными сердечниками, некоторые патроны снаряжены трассирующими пулями. Применение указанных патронов для гражданского и служебного оружия недопустимо (см. “Закон об оружии”). Основные характеристики пистолетных патронов к различным образцам отечественного и зарубежного оружия приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные характеристики пистолетных патронов

Тип патрона, страна	Калибр, мм	m, г	$L_{патр}$, мм	$L_г$, мм	V_0, м/с	p_m, МПа	E_0, Дж
.25 ACP Braunung, Бельгия	6,35	3,25	22,8	15,55	230	60	86
.35 ACP Braunung, Бельгия	7,65	4,7	25,0	17,20	295	90	205
Бергман-Байард, Бельгия	9,0	8,6	33,5		340	160	497
Намбу, Япония	8,0	6,6	32,0		320	135	338
.380 British Servis, Великобритания	9,0	11,6	31.6		190	70	209
НАТО	9,0	6,4	29,6		400	216	512
.455 Веблей, США	11,56	14,3	31,0		420	206	
Макаров, Россия	9,0	6,1	24,8	18,0	315	118	303
7Н21, Россия	9,0	5,3	29,7	19,15	457	274,5	553,4
7Н31, Россия	9,0	4,19	29,6	19,15	577	274,5	597,4
Токарев 57-Н-134С, Россия	7,62	5,5	34.85	24,7	430	205,4	485
ПСМ, Россия	5,45	2,4 2,5 2,6	24,9	17,80	315 315 315	100 105 110	119 124 129
9-мм Luger, Германия	9,0	5,8 7,5 9,5	29,69	19,15	373 (397) 362 (404) 294 (327)	190 (255) 190 (255) 190 (255)	403 (457) 491 (612) 410 (507)
.30 Luger, Германия	7,62	6,0	29,85	21,59	390	260	456
9×21, Израиль	9,0	6,5 7,5 9,5	29,75	21,15	419 (461) 383 (413) 312 (341)	185 (245) 185 (245) 185 (245)	570 (690) 550 (639) 462 (552)
.32 S.&W. Long N.P., США	8,31	5,4 6,4	32,51	23,37	231 (258) 186 (208)	70 (95) 70 (95)	144 (179) 110 (138)
.38 S.&W. Colt N.P., США	9,0	9,5	31,50	19,69	(230)	(95)	(251)
.380 ACP, Бельгия	9,0	5,8 6,5	25,00	17,33	315 314	140 140	(287) (320)

Тип патрона, страна	Калибр, мм	m, г	$L_{патр.}$, мм	$L_г$, мм	V_0, м/с	p_m, МПа	E_0, Дж
.44 Remington Magnum, США	11.0	11,7 15,6 19,4	40.39	32.64	407 (442) 372 (407) 305 (337)	200 (265) 200 (265) 200 (265)	969 (1142) 1079 (1292) 902 (1102)
AUTO, Швеция	10.0	10,0 11,7 13,0	32,00	25.20	355 (392) 328 (361) 284 (319)	180 (240) 180 (240) 180 (240)	630 (768) 629 (762) 524 (661)
.45 Winchester Magnum, США	11,43	12,0 13,0 14,9	40,01	30,43	520 (547) 551 (598) 513 (550)	215 (285) 215 (285) 215 (285)	1622 (1795) 1973 (2324) 1961 (2254)
.38 Super Auto, США	9,0	7,5 9,5	32,51	22.86	362 (402) 334 (372)	180 (240) 180 (240)	491 (606) 529 (657)
.357 Magnum, США	9,0	7,1 9,4 13,0	40,39	32,77	413 (440) 404 (447) 288 (337)	230 (305) 230 (305) 230 (305)	605 (687) 767 (939) 539 (738)
.38 Special, США	9,0	7,1 9,1 9,6	39,37	29,34	362 (403) 291 (338) 272 (307)	115 (155) 115 (155) 115 (155)	465 (576) 406 (547) 355 (452)
.45 Colt, США	11,43	11,7 13,0 14,9	40,64	32.64	341 (367) 326 (347) 301 (330)	80 (105) 80 (105) 80 (105)	680 (788) 691 (783) 675 (811)
.45 AUTO, США	11.43	10,0 13,0 14,9	32.39	22,81	320 (356) 275 (305) 262 (294)	100 (135) 100 (135) 100 (135)	512 (634) 491 (605) 511 (644)

Небольшое максимальное давление пороховых газов позволяет использовать оружие с отдачей свободного хода затвора. Масса патронов в большинстве случаев составляет 10,5...12,5 г, за исключением патронов клб. 11,43...11,56 мм и некоторых сравнительно маломощных патронов калибра меньше 9 мм.

Масса пуль различна и зависит от калибра, однако коэффициент веса находится в пределах $C_q = q/d^3 = 85...100$ кН/м^3 (8,5...10 гс/см^2), что вместе с притуплённой головной частью обеспечивает надёжное останавливающее действие. При этом длина головной части пули принимается в пределах 0,5...1,0 d. В баллистическом отношении такая форма для снаряда не оптимальна, однако считается приемлемой ввиду небольших дальностей стрельбы из пистолетов.

Максимальное давление пороховых газов обычно не превосходит 200...220 МПа. Импульс отдачи невелик. Например, для патрона к пистолету ПМ он составляет I_o=2,5 Н·с, для патрона Кольт клб.11,43 мм I_o=4,0 Н·с, что при короткой гильзе позволяет использовать для перезаряжания механизм с отдачей свободного хода затвора.

Традиционно пистолетные патроны снаряжают оболочечными пулями со свинцовым или стальным сердечниками. Некоторые системы имеют трассирующие пули.

В настоящее время к боевым пистолетным патронам предъявляют повышенные требования по мощности и способности пробивать индивидуальные средства защиты. Поэтому появилось множество конструктивных разработок патронов с полуоболочечными пулями, имеющими выступающий стальной сердечник высокой твёрдости с остроконечной и притуплённой формой (например, пули к патронам 7Н21, 7Н31 клб.9 мм). Это обеспечивает пробитие металлических защит и даёт минимальный рикошет.

Особенности применения служебного оружия в оперативной обстановке предъявляют дополнительные требования к пистолетным патронам. Пуля должна обеспечивать, прежде всего, высокое останавливающее (иногда предупредительное) действие, поэтому при сравнительно небольшой массе обладать повышенной начальной скоростью, интенсивно уменьшающейся на полёте. В случае промаха пуля, быстро теряя скорость, не сможет угрожать жизни людей, случайно оказавшихся в зоне стрельбы.

Разработаны конструкции облегчённых пустотелых пуль с ограниченным проникающим действием (рис.3.3).

Для револьверов применяют патроны, в которых пуля размещена полностью в гильзе цилиндрической формы. Такая конструкция (рис. 3.4) объясняется необходимостью обтюрации пороховых газов в начальный момент выстрела, когда гильза, расположенная в барабане, играет роль части ствола.

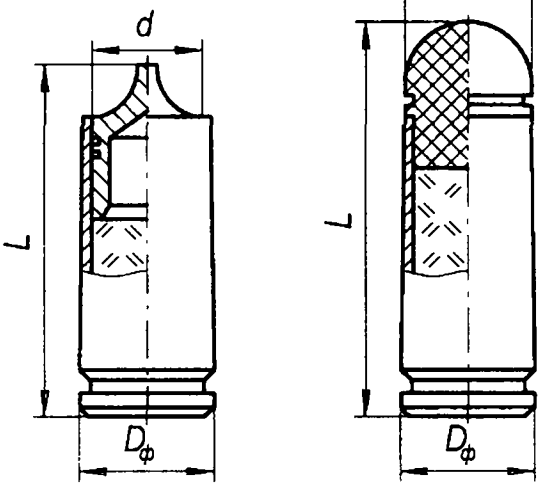


Рис. 3.3. Пистолетные патроны с безоболочечными пулями

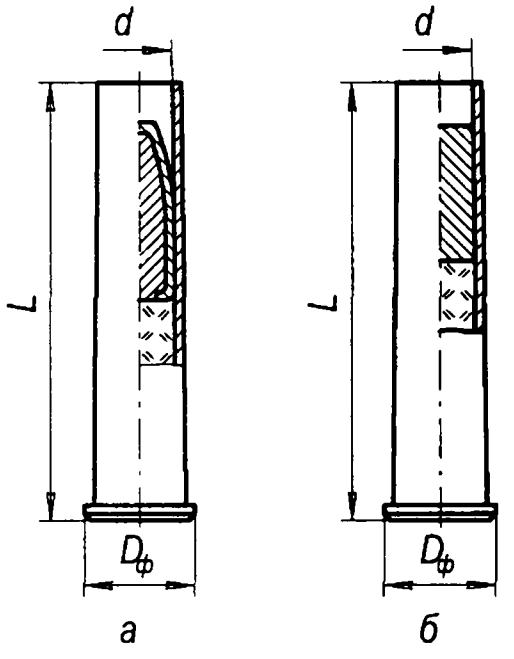


Рис. 3.4. Револьверные патроны: *а* – с оболочечной пулей; *б* – с безоболочечной пулей

3.3. Автоматные патроны

Автоматные патроны предназначены для стрельбы из карабинов, автоматических винтовок и ручных пулемётов. Первые образцы оружия и патронов, которые давали бы более мощный эффект по плотности огня и дальности поражающего действия по сравнению с пистолетами-пулемётами, появились в период Второй мировой войны. Наиболее удачной следует считать разработку выдающегося отечественного оружейника М.Т.Калашникова, предложившего конструкцию автомата. Здесь успешно решена задача увеличения дальности прицельной стрельбы за счёт более мощного патрона и совершенной в баллистическом отношении пули по сравнению с пистолетными образцами (рис. 3.5).

В то же время меньшая в сравнении с винтовочным патроном мощность обеспечивала минимальную отдачу и устойчивость оружия при автоматической стрельбе. Эти патроны нередко называют промежуточными (между винтовочными и пистолетными). Работы по созданию промежуточных патронов для автоматического оружия активно проводились за рубежом, и был принят на вооружение целый ряд образцов автоматных патронов.

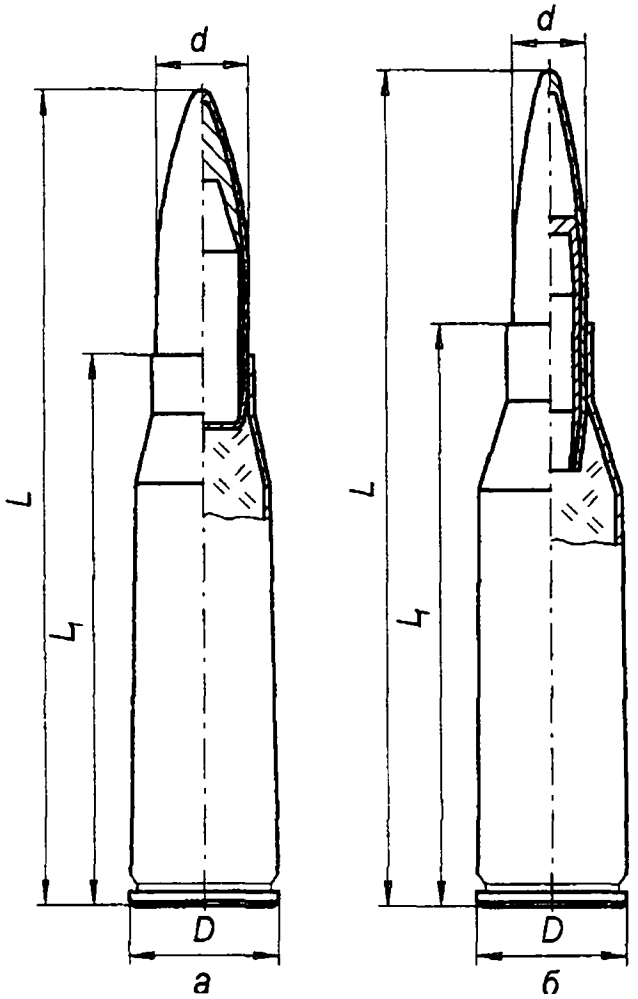


Рис. 3.5. Автоматные патроны с обыкновенными пулями: *а* – клб. 7,62 мм обр. 43 г.; *б* – клб. 5.45 мм обр. 74 г.

В послевоенное время проведены работы по созданию автоматических стрелковых комплексов с использованием так называемых малоимпульсных патронов уменьшенного (по сравнению с 7,62-мм) калибра, позволяющего улучшить настильность траектории, увеличить дальность эффективной стрельбы при небольшом силовом воздействии на оружие. Для промежуточного па-

трона клб.7,62 мм импульс отдачи I_o=9...11 Н·с, а для отечественного патрона к автомату АК-74 клб.5,45 I_o=5...6 Н·с. Естественно, что устойчивость оружия малого калибра повышается, дальность прямого выстрела достигает 300...400 м. Кроме того, эффективность действия достигается за счёт высокой начальной скорости пули и частичного нарушения её устойчивости при попадании в цель. В табл. 3.2 приведены основные характеристики автоматных патронов отечественных и зарубежных образцов.

Таблица 3.2

Характеристики автоматных патронов

Патрон	Калибр, мм	L, мм	$M_{патр}$, г	$m_п$, г	p_m, МПа	V_o, м/с	E_o, Дж
Россия (обр. 43 г.)	7,62	56,0	16,4	7,9	280	718	2070
США (M198)	5,56	57,6	11,5	3,57	320	960	1670
НАТО (SS109)	5,56	57,1	12,5	4,0	320	930	1750
(L110)тр.	5,56	57,0	12,5	4,2	320	890	1650
Россия (7Н6)	5,45	56,6	10,2	3,4	300	900	1370
(7Н10)	5,45	57,0	10,7	3,4	300	880	1370
(7Т3М)тр.	5,45	56,6	10,3	3,2	300	930	1390

Пули патронов клб. 5,45 мм 7Н6 (Россия) и 5,56 мм SS109 (НАТО) снабжены стальными закалёнными сердечниками практически одинаковой твёрдости. Сердечник пули SS109 имеет массу $m_{срд}$=0,60 г, а сердечник пули 7Н6 – $m_{срд}$=1,43 г. Однако оба патрона дают практически одинаковые показатели пробиваемости, что объясняется особенностями конструкции пули SS109 и ее большей начальной скоростью (табл. 3.3). Патрон клб. 5,45 мм с пулей 7Н10 имеет штампованный сердечник из Ст. 70. На дистанции 100 м эта пуля массой 3,49...3,74 г пробивает стальную плиту толщиной 16 мм, а элементы бронежилетов из титановых сплавов – на дистанции 200 м. Кроме указанных, в номенклатуру малоимпульсных входят патроны: 7Н22 клб.5,45 мм (Россия), Р112 клб.5,56 мм (НАТО).

Таблица 3.3

Характеристики эффективности действия малоимпульсных автоматных патронов

Наименование характеристик	5,56 мм патрон НАТО		5,45 мм патрон РФ		
	SS109 с обыкновенной пулей	L110 с трассирующей пулей	7Н6 с обыкновенной пулей	7Т3 М с трассирующей пулей	7Н10
Калибр, мм	5,56	5,56	5,45	5,45	5,45
Начальная скорость пуль $V_0(V_{25})$, м/с	930	890	900	930	(880)
Дальность прямого выстрела при высоте цели 50 см, м	450	446	433	428	433
Импульс отдачи, Н·с	5,89	5,69	4,80	4,80	4,80
Дульная энергия пули, Дж	1748	1648	1373	1393	1373
Дальность пробития 80%, м:					
листа ст.3 толщиной 3 мм	655…715	–	640…700	–	–
листа ст.3 толщиной 5 мм	400…420	–	410…445	–	–
листа ст.3 толщиной 16 мм	–	–	–	–	100
стального армейского шлема СШ-68	950	–	960	–	–
бронежилета Ж-85Т толщиной 6 мм	80	–	80	–	–
Максимальное давление пороховых газов, МПа	Не более 380	363	Не более 294	Не более 294	Не более 294
Дальность трассирования, м	–	1100	–	850	–
Вынос трассы, м	–	50…120	–	50…120	–

Патрон 7Н22 обладает пулей с термоупрочнённым сердечником ($m_{срд}$=1,74 г), обеспечивающим пробитие брони толщиной

5 мм на дальности 250 м. Патрон с бронебойной пулей Р112 пробивает хромоникелевую сталь толщиной 6 мм на дальности 140 м. Пуля имеет томпаковую оболочку и остроконечный сердечник с ($m_{срд}$=1,28 г). Сравнение результатов испытаний патронов с трассирующими пулями клб. 5,45 мм и 5,56 мм показывает, что безотказность и вынос трассы примерно одинаковы при небольшой разнице в дальности трассирования. Вынос трассы обеспечивается специальным замедлительным составом.

3.4. Винтовочные патроны

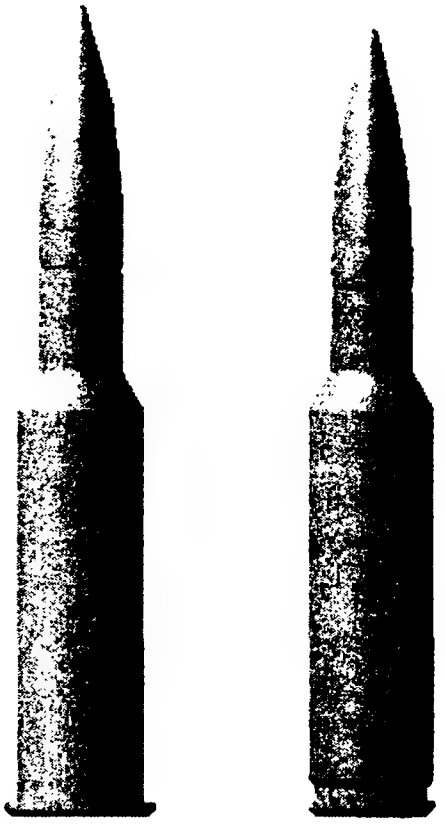


Рис. 3.6. Винтовочные патроны: *а* – клб. 7,62 мм (Россия); *б* – 7,62 мм (НАТО)

Винтовочные патроны предназначены для стрельбы из пулемётов и снайперских винтовок, имеют бутылочную форму гильзы и совершенные в баллистическом отношении пули. Для отечественного патрона применяют гильзу с выступающим фланцем, гарантирующим точную фиксацию патрона в патроннике и исключающим её поперечный разрыв. Однако фланцевые гильзы затрудняют работу автоматики оружия, увеличивают объём магазинов, поэтому в настоящее время чаще используют гильзы, в которых фланец не выступает за корпус за счёт специальной кольцевой проточки (рис.3.6).

Номенклатура винтовочных патронов:

а) для армии России:

- 7,62-мм с обыкновенной пулей (ЛПС);
- 7,62-мм с бронебойно-зажигательной пулей (Б-32);
- 7,62-мм с трассирующей пулей;

– 7,62-мм снайперский патрон;

б) для армий стран НАТО:

– 7,62-мм с обыкновенной пулей (М80);
– 7,62-мм с бронебойной пулей (М61);
– 7,62-мм с трассирующей пулей (М62);
– 7,62-мм снайперский патрон (М118).

До недавнего времени винтовочные патроны снаряжали пулями обыкновенного действия со стальным и свинцовым сердечниками, пулями специального действия: зажигательными, мгновенного действия и т.п. разнообразных конструкций Основные характеристики отечественных и зарубежных образцов винтовочных патронов представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Характеристики винтовочных патронов

Патрон страны	Калибр, мм	L, мм	$Q_п$, г	$m_п$, г	p_m, МПа	V_o, м/с	E_o, Дж
Финляндия	7,62	75,5	26,7	13,0	270	720	3370
Япония	6,5	76,0	21,1	9.0	330	750	2531
Япония	7,71	79,7	25,8	10,5	270	790	3277
Россия:							
пуля ЛПС	7,62	77,2	21,8	9,6	300	825	3267
пуля 7Н14	7,62	77,2	22,0	9,8	300	825	3335
пуля 7БГ1	7,62	77,2	22,0	9,8	300	800	3136
НАТО:							
пуля М30	7,62	71,0	23,8	9,5	350	840	3352
пуля М61	7,62	71,0	24,0	9,6	350	850	3468

Коэффициент веса пуль, во многом определяющий мощность патрона и поражающее действие для винтовочных пуль, находится в пределах C_q=150...220 кН/м^3 (15...22 кг/см^3). Отличительной особенностью винтовочных патронов является то, что убойное действие пуль сохраняется на значительном расстоянии (до 2...3 км и более), что нередко становится причиной попадания в случайную цель с летальным исходом. Импульс отдачи составляет 12...16 Н·с, что затрудняет удержание оружия в устойчивом положении, требует механического его закрепления и изнуряюще воздействует на стрелка.

Совершенство в баллистическом отношении, настильная траектория, высокая кучность боя определяют винтовочный патрон как основной, с широкой номенклатурой пуль обыкновенного и специального действий, обеспечивающих поражение целей на больших дальностях. В табл. 3.5 приведены некоторые тактико-технические характеристики винтовочных патронов армий России и стран НАТО.

Таблица 3.5

Тактико-технические характеристики винтовочных патронов

Характеристики	Россия				НАТО			
	ЛПС обыкн. со стальным серд.	Б-32 бронебойно-зажигательная	7Н1 снайперская	7Н21 трассирующая	М30 со свинц. серд.	М62 трассирующая	М61 бронебойная	М118 снайперская
Калибр, мм	7,62	7,62	7,62	7,62	7.62	7,62	7,62	7.62
$m_п$, г	9,6	10,4	9,8	9.7	9.5	9,1	9,6	11,3
V_0, м/с	825	805	830	775	840	870	850	790
p_m, МПа	300	300	300	300	360	360	360	320
Дальность прямого выстрела, м	420	423	437	421	430	443	435	422
Импульс отдачи, Н·с	11,9	12,4	12,2	11,8	11,8	11,8	11,9	13,6
E_0, Дж	3230	3360	3310	3100	3340	3480	4290	3530
Твёрдость сердечника, HRC	20...25	63...68	–	–	–	–	62...65	–
Дальность 80% пробития. м: ст.3. S=3,5 мм	830	900	900	–	–	–	–	–
2П. S=10 мм	200	–	–	–	–	–	100	–
бронежилет Ж-85Е	150	800	750	–	130	–	500	130
армейский шлем СШ-68	1700	1700	1700	–	1700	–	1700	1700
Дальность трассирования. м	–	–	–	1200	–	1000	–	–

3.5. Крупнокалиберные патроны

Крупнокалиберные патроны (рис. 3.7) обладают большой мощностью в сравнении с другими патронами стрелкового оружия и предназначены для стрельбы из крупнокалиберных пулемётов и снайперских винтовок. Это оружие способно поражать легко бронированную и небронированную боевую и вспомогательную технику, низколетящие воздушные цели и пр. Не менее важную задачу решает крупнокалиберное стрелковое оружие по поражению живой силы, находящейся за различными укрытиями.

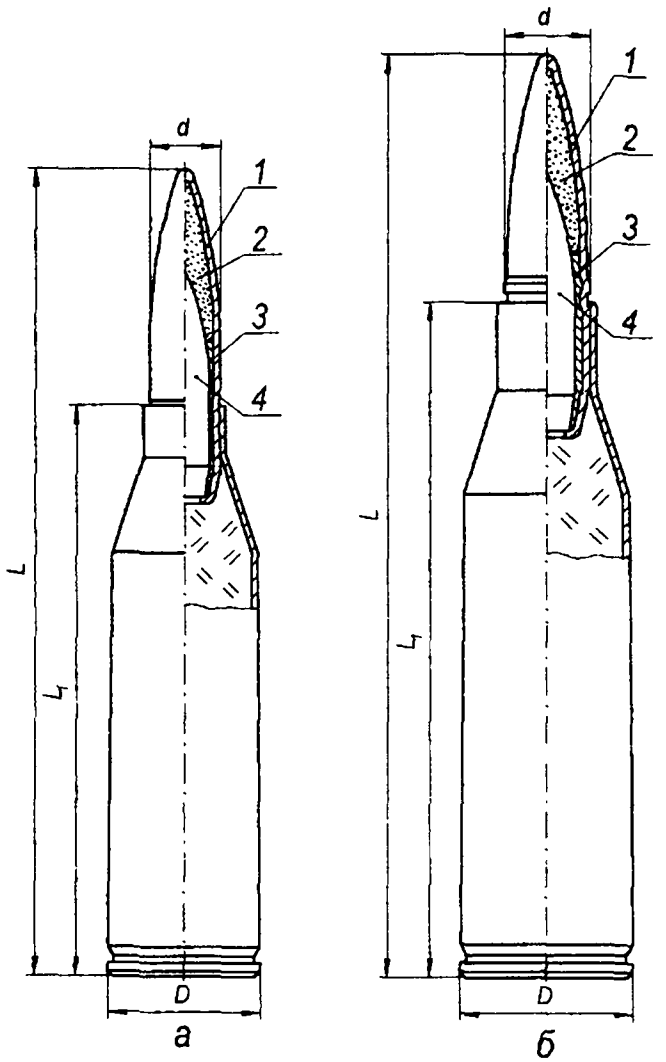


Рис. 3.7. Крупнокалиберные патроны с бронебойно-зажигательными пулями: *а* – 12,7-мм патрон (Россия); *б* – 14,5-мм патрон (Россия); *1* – оболочка; *2* – зажигательный состав; *3* – свинцовая рубашка; *4* – стальной сердечник

В основную номенклатуру крупнокалиберных патронов для армии России входят:

– 12,7-мм с бронебойно-зажигательной пулей (Б-32);

– 12,7-мм с бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей (БЗТМ);

– 12,7-мм с зажигательной пулей мгновенного действия (МДЗМ);

– 12,7-мм снайперский патрон;

– 14,5-мм с бронебойно-зажигательной пулей (Б-32);

– 14,5-мм с бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей (БЗТМ);

– 14,5-мм с зажигательной пулей мгновенного действия (МДЗ).

Крупнокалиберные патроны имеют ёмкие бутылочные гильзы с невыступающим фланцем, что обеспечивает надёжную работу автоматики оружия. В табл. 3.6 приведены основные характеристики крупнокалиберных патронов.

Таблица 3.6

Характеристики крупнокалиберных патронов

Патрон страны	Калибр, мм	L, мм	$Q_п$, г	$m_п$, г	p_m, МПа	V_o, м/с	E_o, Дж
Англия	12,7	107	85,4	37,0	290	765	10827
США	12,7	138	116,0	48,0	370	810	15746
Франция	13,2	136	120,0	52,0	300	800	16640
Россия:							
Б-32	12,7	147	135,0	48,3	310	820	16238
МДЗ	12,7	147	130,0	43,0	300	820	14457
БС	12,7	147	145,0	56,6	370	820	18827
Бронебойная	12,7	138.4	116.0	45,9	340	890	18179
Трассирующая	12,7	138.4	114.0	41,7	370	870	15781
Зажигательная	12,7	138.4	110,6	40,3	370	900	16322
Россия:							
Б-32	14,5	156.0	192,0	64,0	330	990	31363
БЗТМ	14,5	156.0	190,0	60,3	330	100	30150
МДЗМ	14,5	156.0	189,0	58,0	330	1000	29000
БСТ	14,5	156.0	199,0	68,5	330	990	33568
Бельгия (НАТО)	15,0	155.0	190,2	70,0	400	1065	39698

В последнее время ведутся разработки по усилению боевого могущества крупнокалиберных патронов, особенно в связи с тем, что на вооружение многих армий приняты снайперские винтовки клб.12,7 мм. Величина импульса отдачи при стрельбе крупнокалиберными патронами значительно больше, чем у патронов среднего калибра. Поэтому, особенно при стрельбе из снайперского оружия, отдача даёт сильное болевое и сотрясающее воздействие на стрелка. С целью снижения этого негативного действия необходимо при разработке новых конструкций патронов по возможности уменьшать массу пули, а в оружии предусматривать специальные устройства, смягчающие удар приклада в плечо стрелка.

Использование тяжёлых пуль или пуль специального действия, способных поджигать "тяжёлое" топливо, позволяет уничтожать объекты на дистанции до 2000 м. В табл. 3.7 приведены характеристики эффективности действия крупнокалиберных патронов.

Таблица 3.7

Характеристики эффективиости действия крупиокалибериых патроиов

Характеристики	Россия				НАТО			
	Б-32 бронебойно-заж.	МДЗ мгновенного действия	БС брон.-заж. с тяж. серд.	БСТ брон.-заж. с тяж. серд.	APM8 бронебойный	M17 трассирующий	M1 зажигат.	AP1 бронебойный
Калибр, мм	12,7	12,7	12,7	14,5	12,7	12,7	12,7	15,0
$m_п$, г	47,4	44,0	56,6	68,5	45,9	41,7	40,3	70,0
V_0, м/с	820	820	820	990	885	875	900	1050
p_m, МПа	300	300	300	330	370	370	370	400
Дальность прямого выстрела, (высота цели 2 м)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1065
Дальность пробития брони БТР-60, м.: бортовой 5 мм/30°	1485	–	–	2280	–	–	–	1770
лобовой 13 мм/45°	480	–	–	760	–	–	–	660
Дальность пробития БМП-765, м.. бортовой 15 мм/0°	1265	–	–	1510	–	–	–	1170
лобовой 15 мм/56°	0	–	–	10	–	–	–	0

3.6. Патроны со стреловидными пулями

Патроны со стреловидными пулями разработаны для различных стрелковых систем, в том числе и крупнокалиберных, и реализуют подкалиберный принцип снарядов с высоким пробивным и проникающим действиями. Стреловидная пуля имеет стальной (или из материала повышенной прочности и плотности) сердечник и оперение из лёгкого сплава.

По конструкции эти патроны могут быть различными, как с одной пулей, имеющей поддон тянущего типа, так и с несколькими, уложенными в поддон толкающего типа.

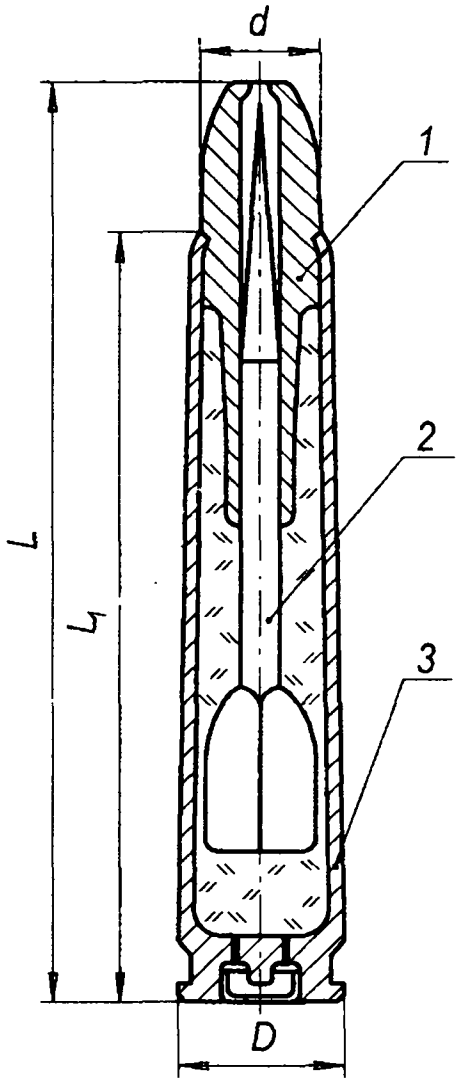


Рис. 3.8. Патрон со стреловидной пулей: *1* – поддон; *2* – пуля; *3* – гильза

На рис. 3.8 показана конструкция патрона с оперённой пулей, которая удерживается в гильзе с помощью секторного разъёмного поддона. Поддон состоит из двух-трёх секторов и обеспечивает ведение пули по каналу ствола и освобождение из него по вылете. Патроны с оперёнными пулями могут применяться для стрельбы из оружия как с гладким каналом ствола, так и с нарезным. Многопульные патроны при стрельбе из нарезного оружия дают большое рассеивание, так как пакет стрел получает вращение, в результате чего возникают центробежные силы, разбрасывающие стрелы по вылете из канала ствола в стороны. Поэтому эффективность стрельбы может быть высокой только на малых дальностях. При небольших диаметральных размерах оперённые пули имеют большую поперечную нагрузку при сравнительно небольшой их массе. Однако даже на средних дистанциях стрельбы малоимпульсные

патроны с оперёнными пулями обладают невысоким убойным действием из-за резкого падения скорости, хотя начальная скорость для некоторых образцов превосходит 1200 м/с.

Основными недостатками этих конструкций следует считать их низкую технологичность и наличие разъёмных поддонов, вылетающих из ствола вместе со стрелами. Элементы поддонов, изготовленные из лёгких металлов или полимеров, обладают достаточной энергией и способны нанести травму боевым расчётам, находящимся впереди стрелка. Во избежание этого в некоторых конструкциях патронов предусмотрено разрушение поддонов и превращение их в пыль, что также затрудняет ведение прицельного огня. Кроме того, поддоны при отделении влияют на траекторию полёта стрел и увеличивают их рассеивание.

3.7. Многопульные патроны

Многопульные патроны применяют для стрельбы из нарезного оружия с целью повысить плотность огня. Различные конструктивные схемы предусматривают последовательное расположение в патроне от 2 до 5 пуль. Примером двухпульного патрона может служить американский патрон H198 клб.7,62 мм (рис. 3.9). Он предназначен для повышения эффективности стрельбы на сравнительно небольших дальностях (до 200 м) и не заменяет других патронов клб.7,62 мм, а дополняет их. Повышение эффективности стрельбы достигается за счёт увеличения количества пуль и их определённого рассеивания, расширяющего поражаемую область. Каждая пуля имеет массу 5,4 г, в сумме 10,8 г (масса штатной пули 9,7 г). Передняя пуля имеет выемку в хвостовой части, куда входит головная часть задней пули.

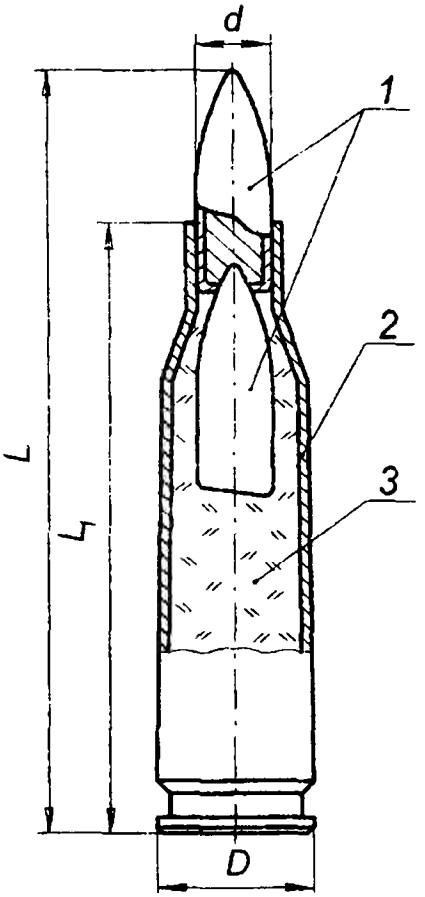


Рис. 3.9. Двухпульный патрон: *1* – пули; *2*– гильза; *3* – пороховой заряд

Из-за частичного нарушения обтюрации пороховых газов и попадания их в межпульное пространство передняя пуля получает бóльшую начальную скорость (850 м/с), чем задняя (790 м/с), что ведёт к несовпадению центров рассеивания пуль.

Кроме того, плоскость среза задней пули наклонена под углом 4,5° к поперечной плоскости, в результате чего задние пули имеют большее рассеивание по сравнению с передними. Так, средний радиус рассеивания на дальности 100 м у передних пуль – 38 мм, а у задних – 280 мм. С увеличением дальности стрельбы резко уменьшаются скорости пуль, имеющих небольшую массу, увеличивается их рассеивание и снижается эффективность стрельбы.

3.8. Бесшумные патроны

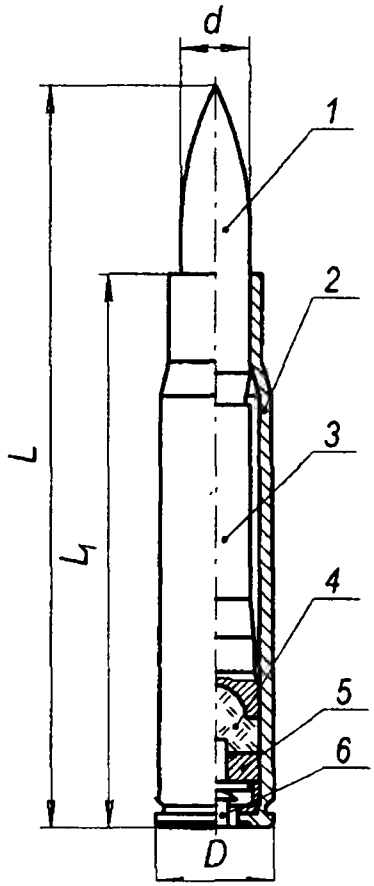


Рис. 3.10. Бесшумный патрон ПЗАМ: *1* – пуля; *2* – гильза; *3* – шток-поддон; *4* – пороховой заряд; *5* – втулка; *6* – капсюль-воспламенитель

Бесшумные патроны ввиду особенностей устройства (рис. 3.10) предназначены для стрельбы из короткоствольного оружия (пистолетов), так как разгон пули в стволе происходит на длине, не превышающей длину хода штока, который не может быть длиннее патронной гильзы. Шток-поддон предназначен для выталкивания пули и запирания пороховых газов в гильзе. Гильза толстостенная, скат гильзы является уступом для остановки поршня. Капсюль-воспламенитель вставлен во втулку и удерживается замкнутой кромкой донной части гильзы. Поршень выталкивателя имеет сферическую выемку. Для обеспечения обтюрации пороховых газов при их расширении стенка поршня прижимается к стенке гильзы. Шток выбрасывает пулю и останавливается, упираясь в скат гильзы и блокируя выход пороховых газов. Запирание пороховых газов даёт возможность исключить звук и ограничить габариты оружия в рамках боевого пистолета.

Впервые бесшумные патроны для такого оружия были разработаны отечественными конструкторами. Как известно, источниками звука являются ударная волна, создаваемая головной частью пули, и истекающие из ствола пороховые газы, вызывающие колебание воздушной массы. При движении пули с дозвуковой скоростью воздушный поток обтекает головную часть, не создавая звука. Увеличение скорости пули приводит к образованию донного разрежения воздушной массы, образованию вихревых потоков, скорость которых выше скорости пули, что создаёт скачок уплотнения воздуха и усиление звука. Для снижения уровня звука следует укорачивать головную часть пули, удлиняя хвостовой конус, уменьшающий интенсивность образования вихревого потока и исключающий уплотнение воздушной массы. Таким образом, для того чтобы снизить уровень звука при выстреле, необходимо придать пуле дозвуковую скорость и предусмотреть в её конструкции удлинённый конус.

Однако при снижении начальной скорости, например, у армейского патрона клб.5,56 мм М193 с 980 до 310 м/с резко сокращается дальность эффективной стрельбы. Это можно частично компенсировать за счёт увеличения массы пули (так для 5,56-мм патрона масса пули увеличена с 3,56 до 5,3 г). При большой массе пули увеличивается её поперечная нагрузка, снижается потеря скорости на траектории и, следовательно, несколько возрастает эффективная дальность стрельбы. Поэтому для бесшумных патронов, разработанных на базе автоматных или винтовочных, масса пуль увеличена по сравнению со штатными. Устойчивость пули на траектории достигается путём усиления гироскопического эффекта за счёт большой крутизны нарезов канала ствола оружия.

По достигаемому эффекту такое оружие оказалось в некоторых случаях предпочтительнее, чем оружие с глушителем. В России было разработано достаточно большое количество образцов бесшумных патронов:

– 7,62-мм патроны СП-2 и СП-3 – для стреляющего ножа НРС и двуствольного малогабаритного пистолета МСП;

– 7,62-мм патрон “Змея” ПЗ. ПЗА, ПЗАМ – для двуствольных пистолетов С-4 и С-4М “Гроза”;

– 7,62-мм патрон СП-4 для стреляющего ножа НРС-2 и самозарядного пистолета ПСС, и другие.

По существу такие патроны есть не что иное, как заряженные стволы и при неправильном обращении представляют большую опасность по сравнению с обычными патронами. При транспортировке они укладываются в стальные контейнеры с 3-мм стенками. Не допускается бросание контейнеров с патронами и нахождение их вблизи источников теплоизлучения.

3.9. Патроны для подводной стрельбы

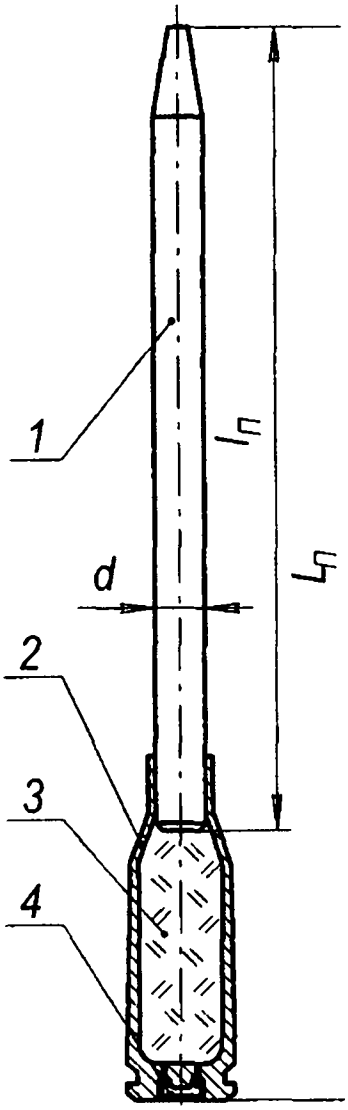


Рис. 3.11. Патрон для подводной стрельбы: *1* – пуля; *2* – гильза; *3* – пороховой заряд; *4* – капсюль-воспламенитель

Патроны для подводной стрельбы предназначены для специального оружия, способного поражать противника под водой на сравнительно небольшой дальности (рис. 3.11). Эффективная стрельба ограничивается ухудшением видимости объектов под водой. Известно, что острота зрения в воде снижается в 100...200 раз. Если прозрачность воды определять по чёткой видимости цели белого цвета диаметром 400 мм, то эта цель различима в Чёрном море на расстоянии 28 м, Средиземном на 50...60 м, Балтийском на 11...13 м, в реках и озёрах это расстояние не превышает 0,5...15 м. Кроме того, скорость движения пули сильно тормозится сопротивлением воды.

Применяемое оружие предполагает использование патрона специфической конструкции, в которой пуля имеет длину $l_п$=20d. Стабильное движение пули в воде может быть обеспечено не за счёт оперения или придания ей вращательного движения и использования гироскопического эффекта, а за счёт глиссирования ее длинной кормовой части, создания кавитации водного потока и частичного разряжения воды с образованием каверны (испарения) (рис. 3.12).

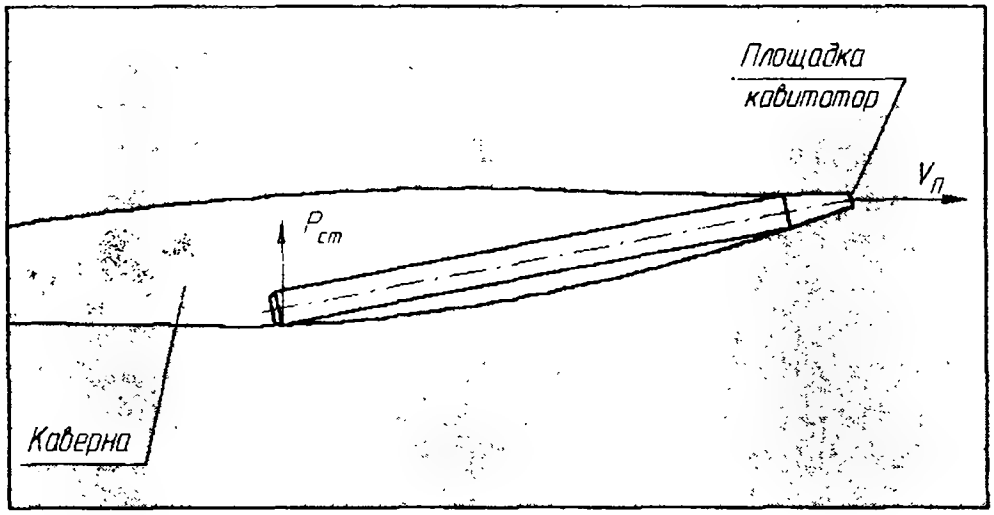


Рис. 3.12. Схема движения пули под водой

Устойчивое движение удлинённой стальной пули с конической тупоконечной вершиной-кавитатором возможно только при условии, что $V_п > 80$ м/с.

Водная среда существенно влияет на сам процесс выстрела, который условно можно разделить на два периода:

1) с момента начала движения пули до момента подхода площадки-кавитатора к дульному срезу (метаемая масса = масса пули + масса столба воды, находящегося в стволе);

2) с момента выхода кавитатора пули за дульный срез до момента вылета её из канала ствола (метаемая масса = масса пули).

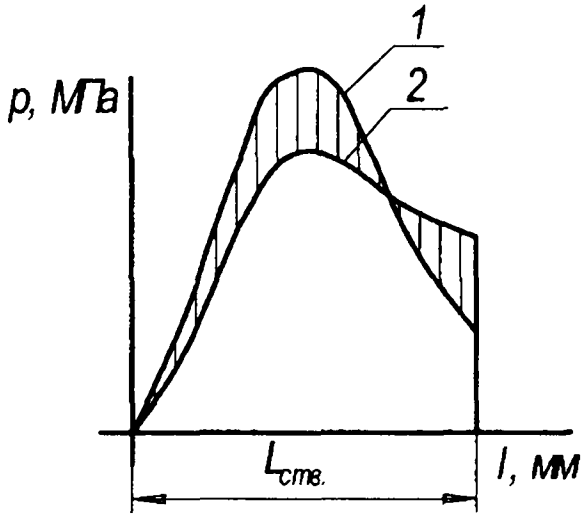


Рис. 3.13. Характер изменения давления пороховых г при стрельбе: *1* – в воде; *2* – в воздухе

В 1-м периоде давление пороховых газов более интенсивно нарастает, чем при стрельбе в воздухе, а во 2-м более интенсивно падает (рис. 3.13).

Применение таких патронов предусматривает использование короткоствольного оружия, так как чем длиннее ствол, тем меньше начальная скорость. Например, для патронов клб.5,56 мм используют гладкоствольную систему с длиной ствола $L_{ств}$=270 мм. Патрон имеет следующие характеристики: $m_п$=16,5 г, $l_п$=100 мм, p_m=3100 МПа.

К патронам для подводной стрельбы предъявляют повышенные требования по коррозионной стойкости, герметичности и безотказности.

3.10. Вспомогательные патроны

Вспомогательные патроны предназначены для обучения военнослужащих обращению с оружием, имитации стрельбы, проверки прочности стволов и узлов запирания, определения баллистических характеристик стрелкового оружия, т.е. для выполнения различных действий, не имеющих прямого отношения к поражению целей. К этим патронам относятся:

– холостые патроны, используемые для безопасной стрельбы во время учений, манёвров и салютов (отличительный признак – отсутствие пуль);

– учебные патроны, применяемые для тренировок по выполнению приёмов заряжания, разряжания, компоновки дисков, лент и проведения других упражнений с оружием (отличительные признаки – отсутствие пороха, пробитый капсюль, боковые продольные канавки на гильзе);

– патроны с усиленным зарядом, предназначенные для проверки прочности и осадки узла запирания оружия (пуля целиком окрашена в черный цвет);

– патроны высокого давления, предназначенные для проверки прочности стволов (пуля окрашена в жёлтый цвет);

– образцовые патроны (эталонные), применяемые для проверки баллистической аппаратуры, паспортизации баллистического оружия, настройки оружия для последующего проведения испытаний (пуля окрашена в серебристый цвет);

– смазывающие патроны, используемые для нанесения специальной смазки на поверхность канала ствола выстрелом с целью размягчения нагара после стрельбы и предотвращения отложения металла оболочки в зоне выступов и впадин нарезов (короткие поддоны, изготовленные из гильз соответствующих патронов).

Холостые патроны предназначены для имитации эффекта стрельбы во время учений, манёвров и производства салютов. Иногда они применяются в ружейных гранатомётах для выбрасывания гранат. Холостые патроны по устройству отличаются от боевых отсутствием пули либо использованием взамен пули имитатора из полиэтилена (рис. 3.14).

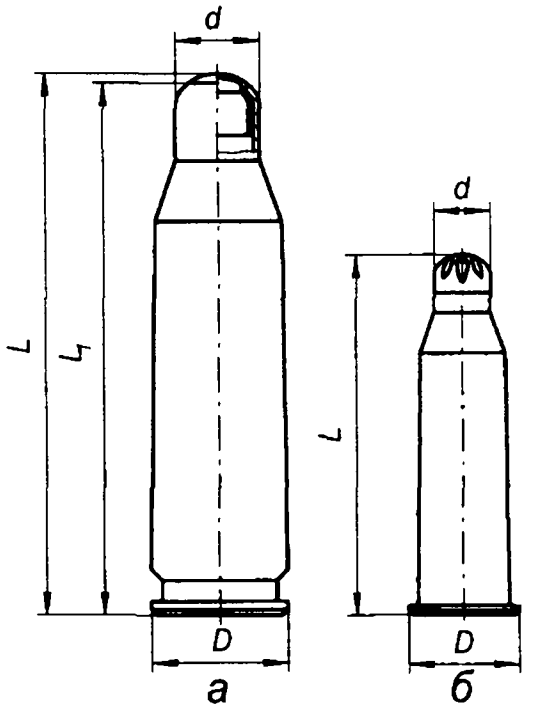


Рис. 3.14. Холостые патроны: *а* – крупнокалиберный с картонным колпаком; *б* – клб. 7,62 мм с обжатием дульца "звёздочкой"

К холостым патронам предъявляют следующие требования:

– идентичность силы звука выстрела в сравнении с боевыми патронами стрелковых систем;

– соответствующая форма и размеры, обеспечивающие возможность стрельбы из оружия без дополнительных приспособлений в механизмах подачи патронов;

– пригодность для автоматической стрельбы при наличии усилителей интенсивности действия пороховых газов на элементы автоматики;

– обеспечение безопасности стрельбы.

Необходимый уровень звука выстрела достигается за счёт применения быстросгорающего пороха и достаточной массы заряда. Для 5,45-мм и 7,62-мм обр. 43 г. патронов применяют пористый порох марки П-125, для холостых винтовочных – пластинчатый порох марки Х (Пл 10-12), а для 12,7-мм и 14,5-мм холостых – порох марки ВГЖ.

Нормальную работу автоматики оружия при стрельбе холостыми патронами удаётся получить за счёт дополнительных устройств – усилителей действия газов. В системах оружия с отдачей ствола это достигается установкой втулки надульника с меньшим внутренним диаметром, а в системах с отводом пороховых газов – установкой на дульной части ствола втулки для холостой стрельбы также с меньшим внутренним диаметром.

Безопасность стрельбы холостыми патронами обеспечивается тем, что они либо не имеют пуль (отечественные патроны), либо имеют предельно ослабленные пули, которые разрушаются при вылете из канала ствола и не представляют опасности для окружающих.

Для удержания порохового заряда дульце гильзы обжато "звёздочкой" (клб.7,62 мм), или же заряд в гильзе закрыт в дульце колпачком (клб.12,7 мм и 14,5 мм). При выстреле воспламеняется пороховой заряд и под давлением пороховых газов разжимается "звёздочка", либо выталкивается колпачок (имитатор), который разрушается и сгорает при вылете из канала ствола.

Учебные патроны не содержат пороховой заряд и предназначены для обучения личного состава приёмам заряжания и разряжания оружия, снаряжения магазинов и лент патронами и приобретения навыков обращения с оружием. В соответствии с назначением к ним предъявляются требования полного сходства с боевыми патронами по форме и размерам, прочного соединения пули с гильзой, обеспечивающего многократное использование учебных патронов, и наличия внешних признаков, отличающих этот вид патронов от боевых. Характерным внешним признаком отечественных учебных патронов (рис. 3.15) является наличие на боковой поверхности продольных канавок, увеличивающих их жёсткость. Поперечные канавки на корпусе гильзы имеют 9-мм пистолетные патроны.

В учебных патронах используются пули со стальным сердечником для пистолетных 9-мм, автоматных 5,45-мм и винтовочных 7,62-мм патронов. Для учебных патронов клб.12,7 мм применяют бронебойно-зажигательные пули, в которых зажигательный состав заменён инертным веществом, а для патронов клб.14,5 мм вместо пуль используют оболочки к бронебойно-зажигательным пулям.

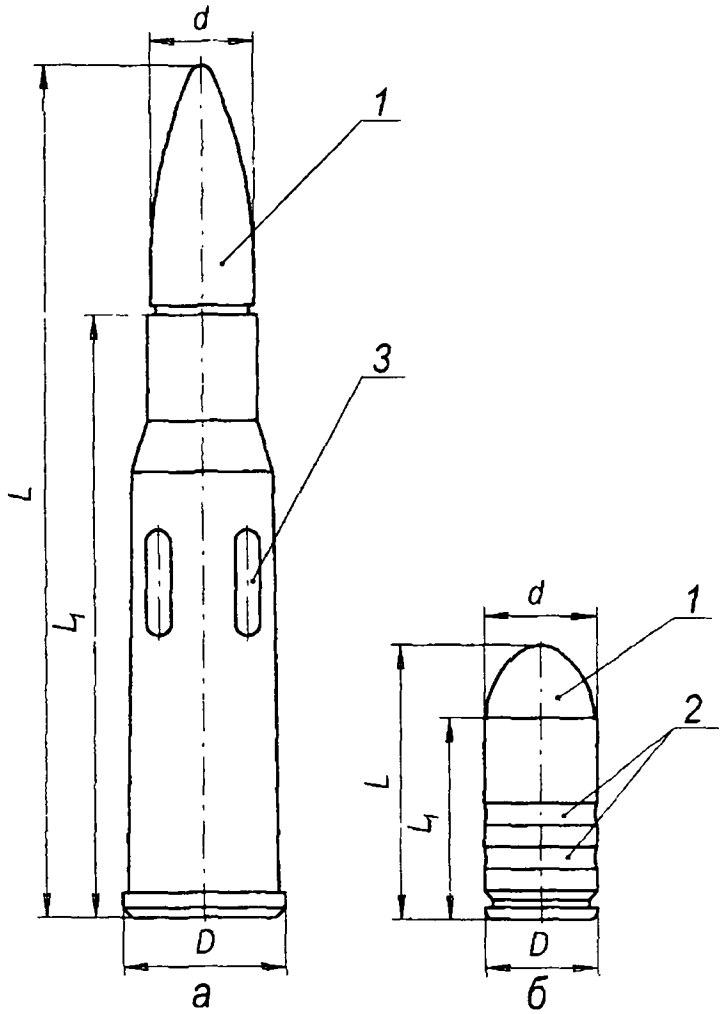


Рис. 3.15. Учебные патроны: *а* – винтовочный клб.7,62 мм; *б* – пистолетный клб. 9,0 мм: *1* – пуля, *2* – поперечные канавки; *3* – продольные канавки

Патроны с усиленным зарядом предназначены для проверки прочности и упругой осадки узла запирания в оружии после его изготовления. Поэтому при стрельбе эти патроны способны развивать более высокое максимальное давление в сравнении с патронами валового производства за счёт порохового заряда увеличенной массы. Пули к ним не содержат зажигательных, трассирующих составов и состоят из оболочки, свинцовой рубашки и стального или свинцового сердечника (рис. 3.16).

В технических условиях на изготовление патронов с усиленным зарядом обычно указываются пределы среднего уровня максимального давления $p_{m\,ср}$ для баллистической группы выстрелов, приведённого к температуре +20°С, а также наибольший уровень максимального давления $p_{m\,нб}$.

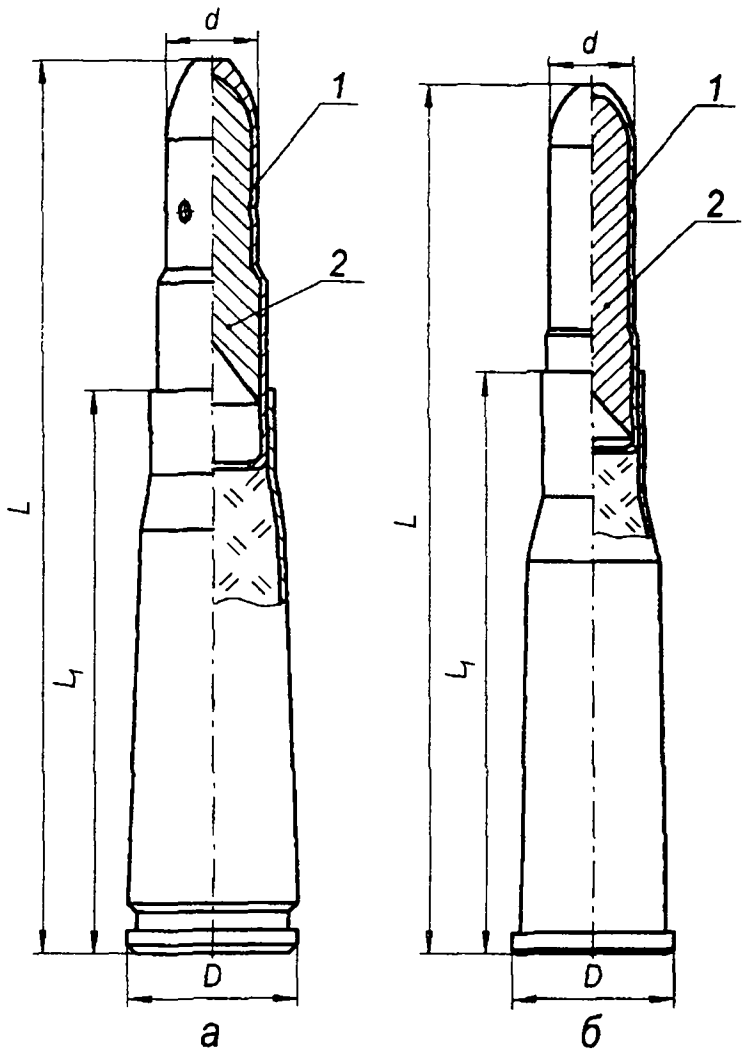


Рис. 3.16. Патроны с усиленным зарядом (*а*) и высокого давления (*б*):
1 – оболочка; *2* – свинцовый сердечник

Обеспечить указанные значения давления можно путём увеличения веса заряда (либо изменения его марки) или увеличения массы (или длины) ведущей части пули. Во избежание тугой экстракции при стрельбе патронами с усиленным зарядом рекомендуется смазывать корпус гильзы ружейной смазкой, а в целях безопасности при определении давления стрельбу вести из-за укрытия. Для отличия патронов с усиленным зарядом пули до дульца гильзы окрашивают в чёрный цвет, а на боковых стенках ящиков и на крышках коробок делают чёрной краской надпись “усиленный заряд”.

Патроны высокого давления предназначены для проверки прочности стволов после их изготовления и развивают более вы-

сокое максимальное p_m и дульное $p_д$ давления по сравнению с патронами валового производства.

Техническими условиями на изготовление патронов высокого давления обычно предусматриваются пределы среднего уровня максимального давления $p_{m\,ср}$ и $p_{д\,ср}$. Увеличение уровня давлений достигается за счёт подбора заряда или замены его марки, либо за счёт изменения массы или длины ведущей части пули. Допускается увеличение длины патрона при условии вхождения его в патронник. Скорость пули может быть любой и не измеряется. Для отличия от других патронов пули патронов высокого давления окрашивают до дульца гильзы в жёлтый цвет. Параметры некоторых патронов с усиленным зарядом и высокого давления приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Параметры патронов с усиленным зарядом и высокого давления

Уровни давления МПа, кгс/см^2	Патроны с усиленным зарядом				Патроны высокого давления			
	5,45-мм автоматный	7,62-мм винтовочный	12,7-мм	14,5-мм	5,45-мм автоматный	7,62-мм винтовочный	12.7-мм	14.5-мм
$p_{m\,ср}$	338,3 (3450)	313.8 (3200)	372,6 (3800)	372,6 (3800)	392,3 (4000)	411,9 (4200)	431,5 (4400)	411,9 (4200)
$p_{m\,нб}$	–	368.7 (3750)	–	–	451.0 (4600)	368.7 (3750)	–	–
$p_{m\,нм}$	313.8 (3200)	–	–	–	362.8 (3700)	–	–	–
$p_{д\,ср}$	-	–	–	–	73.5 (750)	53.9 (550)	71,05 (725)	71,05 (725)

Патроны с усиленным зарядом и высокого давления изготавливаются небольшими партиями, не превосходящими 100 тыс. шт. для средних и малых калибров и 20 тыс. шт. для крупных.

Образцовые патроны предназначены для паспортизации баллистического оружия, настройки аппаратуры (хронографов) и испытания патронов и порохов. Изготовление образцовых патронов осуществляется с учётом повышенных требований к проведению технологических процессов по сравнению с валовыми.

Пули образцовых патронов по конструкции соответствуют основной номенклатуре боевых патронов и должны удовлетворять требованиям чертежей, но с половинными допусками на диаметр

ведущей части и массу пули. При изготовлении образцовых патронов обеспечиваются установленные пределы отклонения массы заряда и извлекающего пулю усилия. Для отличия от других патронов вершины пуль образцовых патронов окрашивают в белый цвет. После изготовления и утверждения партии патронов их рассылают потребителям в герметичной упаковке. Срок их годности в качестве образцовых – пять лет. Решение о продлении срока годности принимается на основании результатов проверки баллистических характеристик и химической стойкости пороха.

Баллистические характеристики образцовых патронов устанавливают по результатам испытаний стрельбой из трёх скоростных и трёх крешерных видов баллистического оружия в течение трёх дней. При стрельбе из крешерного оружия определяются максимальное давление пороховых газов и скорость пули (для пистолетных патронов скорость пули не определяют). После проведения испытаний устанавливают:

– значение скорости пуль $V_{x\,ср}$, рассчитанное как среднее арифметическое скоростей пуль при стрельбе из скоростного и крешерного оружия;

– среднее значение максимального давления пороховых газов $p_{m\,ср}$, рассчитанное как среднее арифметическое из числа всех стрельб из крешерного оружия;

– максимальная разность между наибольшим и наименьшим значениями скорости пуль при стрельбе из скоростного и крешерного оружия;

– максимальная разность между наибольшим и наименьшим значениями максимального давления пороховых газов при стрельбе из крешерного оружия.

Баллистические испытания образцовых патронов проводятся в нескольких организациях по особому распоряжению. Эти испытания являются предварительными. Окончательное определение основных характеристик и утверждение партии образцовых патронов осуществляется на основании обобщения результатов проведённых стрельб и собственных испытаний организацией-заказчиком. К каждой партии образцовых патронов предъявляется ряд конкретных требований по баллистическим и другим характеристикам, оговариваются возможные отклонения, условия испытаний и т.п., которые записываются в техническом задании.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ВЫСТРЕЛА

Поражающим элементом патрона является пуля (снаряд), которая разгоняется в канале ствола за счёт работы пороховых газов, обретает большую начальную скорость, покидает ствол и далее движется по внешней траектории к цели.

Баллистика (в пер. с греч. – бросание) – наука о движении снарядов. Закономерности движения пули внутри канала ствола изучает внутренняя баллистика, а полёт пули по траектории во взаимодействии с внешними силами — внешняя.

4.1. Элементы внутренней баллистики

Выстрел – скоротечный, сложный термодинамический процесс, который начинается с момента воспламенения ударного состава капсюля и заканчивается вылетом пули из канала ствола.

Воспламенение порохового заряда происходит за счёт форса огня, который образуется от срабатывания капсюля-воспламенителя и прорывается через затравочные отверстия в дне гильзы к пороховому заряду.

Горение порохового заряда сопровождается образованием большого количества газов, резким ростом температуры (до 2500°С) и интенсивным нарастанием давления. При достижении определённого давления (так называемого давления форсирования), которое способно преодолеть силу закрепления пули в дульце гильзы, начинается движение пули в канале ствола. Давление форсирования сравнительно невелико и для различных систем колеблется в пределах 70...100 МПа.

Дальнейшее горение заряда и нарастание давления пороховых газов придают пуле огромное ускорение, ее элементы испытывают большие перегрузки. Движение пули увеличивает объём запульного пространства, поэтому давление пороховых газов, достигнув своего максимума, начинает падать.

По окончании горения порохового заряда пуля получает дополнительную энергию движения за счёт свободно расширяющихся при высокой температуре пороховых газов. У дульного среза скорость пули практически максимальна, хотя и по вылете из канала ствола вырывающиеся пороховые газы воздействуют

на дно пули, несколько увеличивая её скорость. Таким образом, по мере продвижения пули по каналу ствола скорость её непрерывно возрастает, достигая наибольшей величины в нескольких сантиметрах от дульного среза. Скорость пули у дульного среза для стрелковых винтовочных систем составляет 700...900 м/с, а для некоторых крупнокалиберных установок – 1000 м/с и более. Пуля внутри канала ствола движется всего 0,0015...0,0020 с, что и определяет время выстрела.

Давление пороховых газов достигает максимальной величины к моменту прохождения пулей начального участка канала ствола и составляет для стрелковых систем порядка 280...320 МПа и более, для пистолетных меньше – 100...200 МПа. Характер нарастания давления пороховых газов существенно зависит от конструкции заряда, т.е. от размеров и формы пороховых зёрен, химического состава и плотности заряжания. Эти факторы определяют скорость горения заряда, а следовательно, интенсивность нарастания и величину максимального давления. С повышением влажности порох горит медленнее, отчего давление пороховых газов в канале ствола нарастает менее интенсивно. При отсыревшем порохе возможен затяжной выстрел, когда между моментом удара бойка по капсюлю и звуком выстрела проходит заметный промежуток времени. Затяжной выстрел может привести к застреванию пули в стволе и выводу оружия из строя.

Описанные явления, сопровождающие выстрел, позволяют построить графическую модель его процесса. На рис. 4.1 показана зависимость изменения давления пороховых газов p и скорости движения пули V от времени τ (l – длина ствола). Начало координат соответствует моменту форсирования. Весь скоротечный процесс условно разделён на четыре периода.

I период – пиростатический – длится от момента срабатывания ударного состава до момента, когда давление пороховых газов достигает давления форсирования. Под действием пороховых газов гильза упруго-пластически деформируется, выбирает радиальный зазор и большей частью поверхности корпуса плотно прилегает к поверхности каморы, тем самым обеспечивая обтюрацию пороховых газов.

II период – первый пиродинамический – характеризуется интенсивным нарастанием давления до максимального значения,

активным горением заряда и началом движения пули с большим ускорением за счёт образования и расширения пороховых газов. Корпус гильзы деформируется пластически, камора – упруго. Нижняя часть корпуса гильзы, сопряжённая с дном, подвергается осевому пластическому растяжению за счёт наличия осевого зазора и упругой осадки узла запирания.

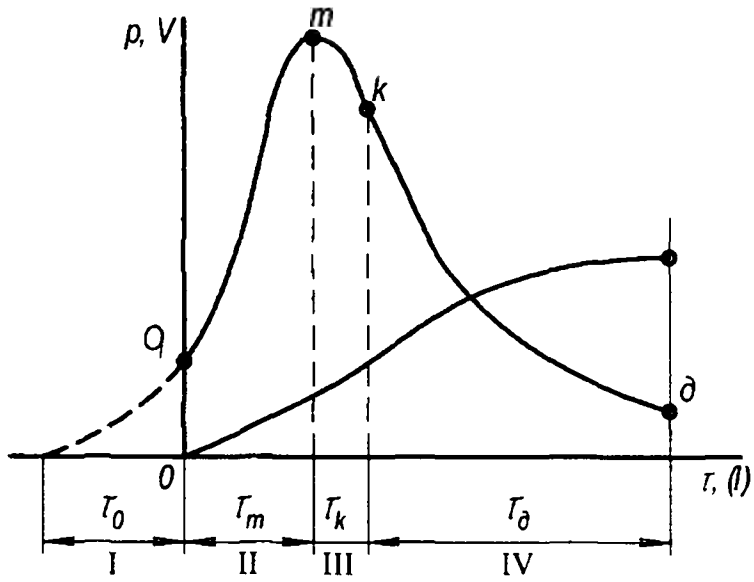


Рис. 4.1. Изменение давления пороховых газов (кривая *1*) и скорости пули (кривая *2*) в процессе выстрела

III период – второй пиродинамический – характеризуется падением давления в результате движения пули и увеличения запульного пространства и длится от момента достижения пороховыми газами максимального давления до момента окончания горения порохового заряда. Пуля движется с очень большим ускорением, набирая высокую скорость. По достижении максимального давления гильза совместно с каморой начинает упруго разгружаться. При этом идёт интенсивный теплообмен между стенками гильзы и раскалёнными пороховыми газами.

IV период – термодинамический – длится от момента окончания горения порохового заряда до вылета пули из ствола. Величина дульного давления зависит от условий заряжания и длины ствола и составляет величину порядка 30...70 МПа. Скорость пули к концу четвёртого периода достигает практически макси-

мального значения. Продолжается совместная упругая разгрузка гильзы и каморы, при этом гильза за счёт теплообмена нагревается и термодеформируется. Фактор увеличения поперечных размеров гильзы за счёт прогрева необходимо учитывать для обеспечения надёжной экстракции её после выстрела.

Приведённая модель процесса выстрела позволяет:

– определять работу пороховых газов;

– на основании баланса работы пороховых газов и кинетической энергии пули приближённо оценить скорость пули в зависимости от длины ствола;

– установить оптимальную длину ствола оружия, при которой достижимы максимальная дульная скорость и полное сгорание порохового заряда;

– выделить периоды максимальных перегрузок, действующих на элементы пули, и учесть условия заряжания, обеспечивающие надёжное функционирование конструкции пули при движении её по каналу ствола.

Приближённо дульная скорость может быть определена следующим образом:

$$V_0 = \sqrt{\frac{p_m \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l_{\text{ств}}}{4m_{\text{п}}}}, \qquad (4.1)$$

где p_m – максимальное давление пороховых газов, МПа; d – калибр оружия, м; $l_{\text{ств.}}$ – длина ствола, м; $m_{\text{п}}$ – масса пули, кг.

Согласно законам механики, реактивная сила, возникающая в результате вылета пули из канала ствола, будет воздействовать на оружие. Этот эффект движения оружия назад в сторону стрелка называется отдачей. Особенность конструкции оружия (прямолинейный ствол и изогнутая шейка приклада, опирающегося в плечо стрелка) при выстреле приводит к возникновению пары сил отдачи и реакции плеча, из-за чего оружие во время выстрела поворачивается дульной частью вверх (рис. 4.2). Отдача начинается с момента форсирования пули и достигает наибольшей силы в момент вылета её из канала ствола. Импульс отдачи отрицательно сказывается на меткости стрельбы, поскольку значительно отклоняет ствол от точки прицеливания, создаёт негативное психологическое и физическое воздействие на стрелка.

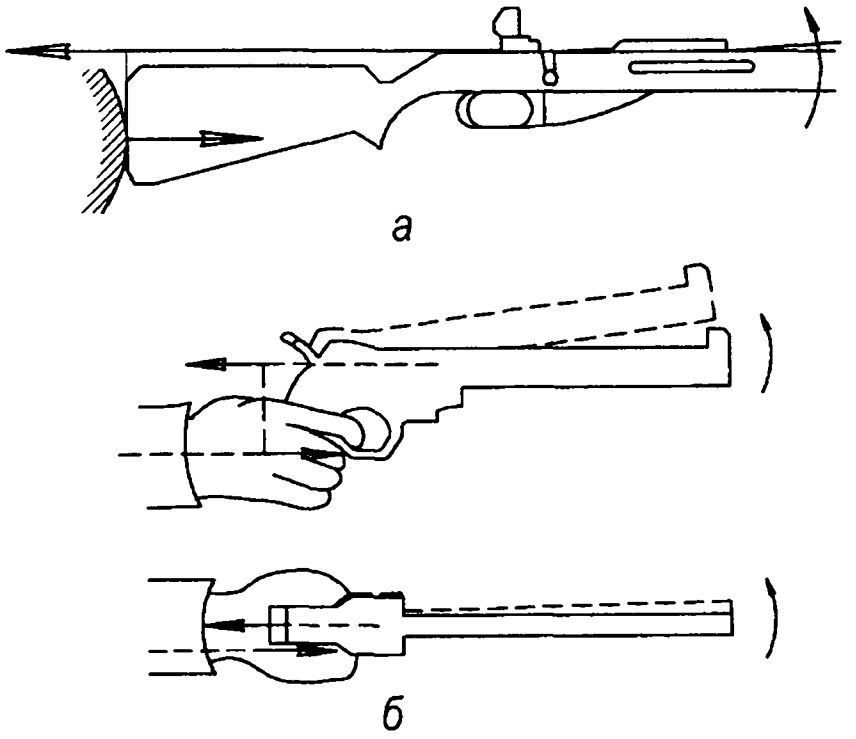


Рис. 4.2. Действие импульса отдачи на оружие при выстреле:
а – на винтовку; *б* – на револьвер (пистолет)

Для сравнительной оценки качества различных стрелковых систем величину импульса отдачи можно рассчитать по зависимости

$$I_0 = m_{\text{п}} \cdot V_0 \cdot \left(1 - 0.64 \cdot 10^{-3} \cdot V_0\right), \qquad (4.2)$$

где I_0 – импульс отдачи, Н·с. Например, для пистолета ПМ клб. 9 мм импульс отдачи составляет 2,5 Н·с, пистолета Кольт клб.11,43 мм – 4,0 Н·с, для автомата АК-74 клб.5,45 мм – 5,0…6,0 Н·с, винтовки Драгунова клб.7,62 мм – 15 Н·с и т.д.

Таким образом, при выстреле оружие под действием импульса отдачи и реакции плеча стрелка (или кисти руки) не только отходит назад, но и отклоняется дульной частью вверх. Причём подбрасывание ствола вверх начинается уже тогда, когда пуля ещё находится в стволе. Поэтому ось ствола в момент выстрела образует угол с осью ствола до выстрела, который называется углом вылета. Угол вылета существенно влияет на кучность и стабильность стрельбы и зависит от величины импульса отдачи, плеча пары сил, мастерства и навыков стрелка и других факторов.

4.2. Элементы внешней баллистики

При вылете из канала ствола пуля обладает максимальной скоростью, которую называют начальной и обозначают V_0. Траектория полёта любого снаряда имеет криволинейную форму и при отсутствии вращательного движения может быть представлена в виде плоской линии (рис.4.3). Если предположить, что пуля летит в безвоздушном пространстве и на неё не действует сила сопротивления воздуха, то траектория полёта пули может быть определена из уравнений движения.

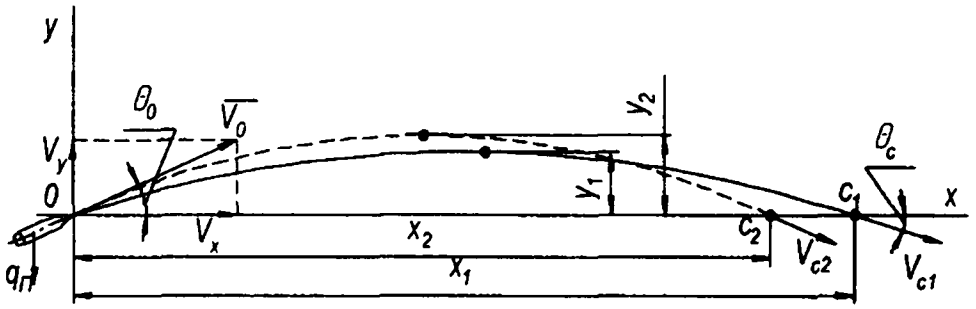


Рис. 4.3. Траектория полёта пули в безвоздушном пространстве (——) и в воздухе (– – –)

Вдоль оси OX

$$m_{\text{п}} \cdot \frac{d^2x}{d\tau^2} = 0, \tag{4.3}$$

$$\frac{dx}{d\tau} = V_x = V_0 \cdot \cos\theta_0 = \text{const},$$

$$x = \tau \cdot V_0 \cdot \cos\theta_0, \tag{4.4}$$

т.е. скорость вдоль оси OX постоянна и при малых углах бросания равна начальной V_0, а дальность полёта X пропорциональна полётному времени и начальной скорости.

Вдоль оси OY

$$m_{\text{п}} \frac{d^2y}{d\tau^2} = -q_{\text{п}}, \tag{4.5}$$

$$\frac{d^2y}{d\tau^2} = -g, \tag{4.6}$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2. Дважды интегрируем уравнение (4.6):

$$y = -\frac{g\tau^2}{2} + C_1\tau + C_2, \qquad (4.7)$$

В момент вылета из ствола при τ=0, $\frac{dy}{d\tau} = V_y = C_1 = V_0 \cdot \sin\theta_0$, а y=0, поэтому C_2=0. Уравнение (4.7) преобразуется к виду

$$y = -\frac{g}{2} \cdot \tau^2 + \tau \cdot V_0 \cdot \sin\theta_0, \qquad (4.8)$$

а с учётом (4.4) – к уравнению квадратичной параболы:

$$y = -\frac{g}{2\left(V_0 \cdot \cos\theta_0\right)^2} \cdot x^2 + \left(\mathrm{tg}\theta_0\right) \cdot x. \qquad (4.9)$$

Следовательно, траектория полёта в безвоздушном пространстве представляет собой равнобочную параболу, а её протяжённость и крутизна зависят от начальной скорости V_0, угла бросания θ_0 и веса пули $q_п$.

При движении пули в воздушном пространстве ее скорость будет постоянно уменьшаться, а траектория полёта станет нестрого параболической из-за активного действия силы сопротивления воздуха R (см. рис.4.3). Уравнения движений пули вдоль осей OX и OY принимают следующий вид:

$$m_п \frac{d^2y}{d\tau^2} = -R_y - q_п, \; m_п \frac{d^2x}{d\tau^2} = -R_x, \qquad (4.10)$$

или

$$\frac{d^2y}{d\tau^2} = -\frac{R_y}{m_п} - g, \; \frac{d^2x}{d\tau^2} = -\frac{R_x}{m_п}, \qquad (4.11)$$

где R_y и R_x – проекции силы сопротивления воздуха R на оси OY (подъёмная сила) и OX (лобовое сопротивление), соответственно.

Величина $R/m_п$ называется ускорением силы сопротивления воздуха, которая зависит от множества факторов и может быть представлена в виде функции:

$$R = f\left(V_0, \theta_0, H(y), C, \frac{V}{a}\right), \qquad (4.12)$$

где $H(y)$ – функция плотности воздуха в зависимости от высоты траектории; V/a – число Маха; a – скорость звука в воздухе, м/с; V – скорость пули в любой точке траектории, м/с; C – баллисти-

ческий коэффициент, м^2/кг.

Переменность силы сопротивления воздуха в пространстве и во времени и зависимость её от множества других факторов не позволяет представить в замкнутом виде решение уравнений (4.11). Во внешней баллистике принято линеаризованное уравнение, устанавливающее связь между дальностью полёта снаряда X, начальной скоростью V_0 и скоростью у цели V_c, а также баллистическим коэффициентом C – интегральной величиной, определяющей тормозящее действие силы сопротивления воздуха:

$$C \cdot X = D(V_c) - D(V_0), \qquad (4.13)$$

где $D(V_c)$, $D(V_0)$ – функции скорости, определяемые по таблицам внешнебаллистических расчётов (прил.1). Уравнение (4.13) называется основным баллистическим уравнением, которое используют для определения дальности стрельбы и скорости пули у цели.

Баллистический коэффициент C учитывает тормозящее действие силы сопротивления воздуха на летящую пулю:

$$C = \frac{i \cdot d^2}{q_п}, \qquad (4.14)$$

где d – калибр пули, мм; $q_п$ – вес пули, г; i – коэффициент формы пули.

Коэффициент формы устанавливается соотношением аэродинамических функций сопротивления воздуха рассматриваемой пули и пули, принятой за эталон:

$$i = \frac{f\left(V/a\right)}{f_{эт}\left(V/a\right)}. \qquad (4.15)$$

Во внешней баллистике принято несколько эталонов формы снарядов и законов сопротивления воздуха:

– закон сопротивления воздуха Сиаччи (цилиндрический тупоконечный снаряд), $i_{Сиаччи}$=0,42…0,65 – для удлинённых остроконечных пуль с оживальной формой вершины;

– закон сопротивления воздуха 1943 г. (остроконечный снаряд оживальной формы с h_1/d=1), i_{43}=0,90…1,10.

Коэффициент формы i является собирательной функцией и зависит от формы и размеров фигур, составляющих пулю, её на-

чальной скорости и дальности стрельбы. Для оценки внешнебаллистических характеристик и определения i может быть использована формула А.Д.Чернозубова:

$$i = \frac{0,3}{\sqrt{0,5+0,1d}}\left(1,23-0,15\frac{d}{d_1}\right)+\frac{h_1 \cdot d}{d^2+4h_1^2}\cdot\frac{12850+\overline{X}}{4200}-$$

$$-\frac{500}{1200-V_0}\cdot\left(1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2\right), \qquad (4.16)$$

где d – калибр пули, мм; d_1 – диаметр хвостовой части, мм; h_1 – высота оживальной части пули, мм; $\overline{X}$ – условная дальность стрельбы, $\overline{X} = X$ при $X<1800\cdot(d/7,62)^2$, $\overline{X} = X\cdot 1800(d/7,62)^2$, если $X>1800(d/7,62)^2$.

Для пуль без хвостовой конической части

$$i = \frac{0,3}{\sqrt{0,5+0,1d}}\cdot 1,08+\frac{h_1 \cdot d}{d^2+4h_1^2}\cdot\frac{12850+\overline{X}}{4200}. \qquad (4.17)$$

Для сверхзвуковых скоростей полёта пули коэффициент формы применительно к закону Сиаччи можно определить также по эмпирической зависимости

$$i = 1,1-0,343\frac{h_1}{d}+0,042\left(\frac{h_1}{d}\right)^2. \qquad (4.18)$$

Пересчёт коэффициента формы по закону 1943 г. возможен с помощью соотношения

$$i_{43} = n \cdot i_{\text{Сиаччи}}. \qquad (4.19)$$

Значения переходного коэффициента в зависимости от начальной скорости приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Значения коэффициента *n*

V_0, м/с	150	250	300	350	400	500	700	1000
n	1.64	1.72	2.08	1.67	1.72	2.00	2.22	2.08

Пример 4.1. Определить баллистический коэффициент пули, если калибр d = 7,62 мм. вес $q_п$ = 9,6 г, длина головной части h_1 = 18,6 мм.

Решение. По выражению (4.18) находим

$$i = 1{,}1 - 0{,}343\frac{18{,}6}{7{,}62} + 0{,}042\left(\frac{18{,}6}{7{,}62}\right)^2 = 0{,}514 \text{ (по Сиаччи).}$$

Подставляем значение i в выражение (4.14):

$$C = \frac{0{,}514 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{9{,}6 \cdot 10^{-3}} = 3{,}11 \text{ (по Сиаччи)}$$

или

$$C = \frac{3{,}11}{0{,}50} = 6{,}22 \text{ (по закону 1943 г.).}$$

Как уже указывалось, баллистический коэффициент C – обобщённая баллистическая характеристика, устанавливающая степень тормозящего действия силы сопротивления воздуха и предопределяющая влияние этой силы на характер, протяжённость и форму траектории. Чем меньше баллистический коэффициент, тем меньше торможение пули, стабильнее её скорость, протяжённее и настильнее траектория её полёта. Баллистический коэффициент входит в основное уравнение баллистики, с помощью которого определяют дальность стрельбы и полётное время:

$$X = \frac{D(V_c) - D(V_0)}{C}, \tag{4.20}$$

$$\tau = \frac{T(V_c) - T(V_0)}{C}, \tag{4.21}$$

где $D(V_c)$, $D(V_0)$, $T(V_c)$, $T(V_0)$ – функции скорости, определяемые по таблице баллистических расчётов (прил.1); X – дальность стрельбы; τ – полётное время.

4.3. Силы, действующие на пулю в полёте

Как уже указывалось, на движущуюся в безвоздушном пространстве пулю действует только сила тяжести, которая совместно с начальной скоростью и углом бросания предопределяет форму траектории её полёта. При полёте в воздухе на пулю воздействуют две внешние силы: сила сопротивления воздуха и сила тяжести (рис. 4.4). Сила сопротивления воздуха является распределённой нагрузкой и интегрально может быть приложена в некой точке на оси симметрии в виде силы R. Точку приложения

силы сопротивления воздуха как равнодействующей распределённой нагрузки называют центром сопротивления (ц.с.), а точку приложения силы тяжести – центром тяжести (ц.т.) или центром масс (ц.м.). Сила сопротивления воздуха препятствует движению пули и направлена под некоторым углом α к вектору скорости пули (т.е. касательной к траектории).

Механизм совокупного действия силы R может быть раскрыт следующим образом. Приложим к центру тяжести две силы, равные по величине силе R и противоположно направленные параллельно ей. Разложим одну из них на две составляющие: по касательной к траектории (R_T) и перпендикулярно к ней (R_N). Получили систему сил в центре тяжести: R_T, R_N, $q_п$ и пару сил RR, действующих на определённом плече и создающих опрокидывающий пулю момент в плоскости чертежа:

$$M = R \cdot h_z \cdot \sin\beta . \qquad (4.22)$$

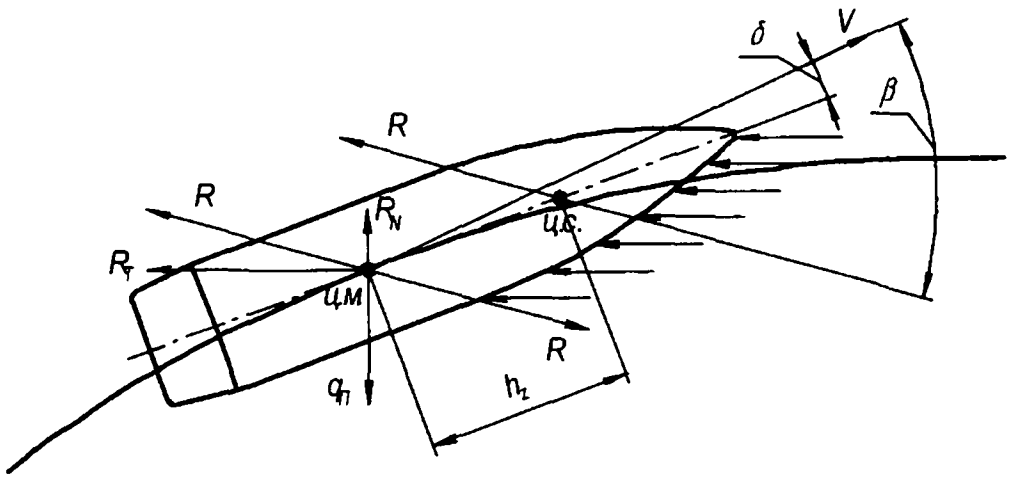


Рис. 4.4. Силы, действующие на пулю в полёте

Сила R_T называется лобовым сопротивлением и вызывает уменьшение (торможение) скорости полёта пули, в результате чего нисходящая ветвь траектории будет короче восходящей. Сила R_N называется подъёмной силой. Сила тяжести $q_п$, как известно, вызывает понижение траектории полёта, а подъёмная сила – её повышение. Активно этот эффект подъёмной силы использован в летательных аппаратах, где её величина регулируется скоростью полёта и углом атаки.

Полёт пули в воздухе будет устойчивым, если угол δ между осью пули и касательной к траектории (вектор скорости) не увеличивается со временем, а уменьшается. Если этот угол под действием опрокидывающего момента будет возрастать, то пуля начнёт кувыркаться, подставляя потоку воздуха то одну, то другую сторону и быстро теряя скорость. В результате такой неустойчивости уменьшается дальность полёта и резко ухудшаются характеристики эффективной стрельбы.

Для обеспечения устойчивого полёта пуль (снарядов) на траектории используют два способа стабилизации. Первый способ заключается в смещении центра сопротивления (ц.с.) назад за центр тяжести (ц.т.) за счёт оперения (стабилизатора) и утяжеления носовой части. В этом случае момент, определяемый выражением (4.22), перестаёт быть опрокидывающим и становится стабилизирующим. Он возникает всякий раз, как только ось снаряда оказывается отклонённой от касательной к траектории. Так обеспечивается устойчивость полёта стрел, большинства реактивных снарядов, оперённых (стреловидных) пуль, авиабомб, мин и т.п. Второй способ обеспечения устойчивости полёта заключается в сообщении пуле (снаряду) большой угловой скорости вращения вокруг продольной геометрической оси. Пуля, имея поступательное и вращательное (ротационное) движения, обретает свойства гироскопа. Действие силы R_N преобразуется в дополнительное вращательное движение (прецессию), и центр тяжести пули описывает винтовую спиральную линию вокруг касательной к траектории. Опрокидывающий момент создаёт третье вращательное движение – нутацию с углом δ (рис. 4.5). Поэтому дополнительные внешние силы (усиление ветра, ветки и пр.) также частично преобразуются в прецессию и нутацию, в меньшей степени отклоняя траекторию полёта пули от линии стрельбы.

Вращательное движение пули достигается за счёт специальных нарезов внутри канала ствола оружия. Углу наклона нарезов α соответствует определённая длина хода (шаг) нарезов n, на которой пуля совершает один оборот. Обычно шаг нарезов выражают в калибрах: $\eta = h/d$. Угол нарезов связан с относительным шагом соотношением

$$\mathrm{tg}\alpha = \pi / \eta . \qquad (4.23)$$

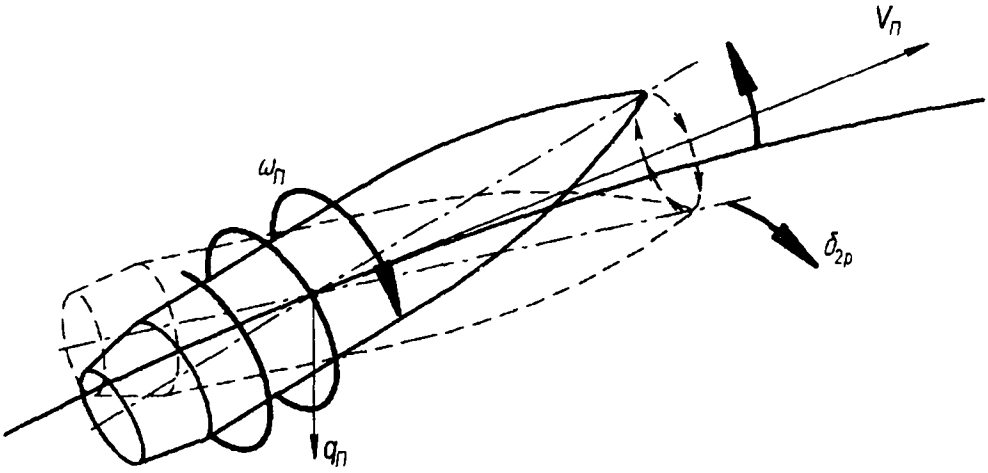


Рис. 4.5. Характер движения вращающейся пули

Обеспечение нормальной стабилизации пули, минимизация прецессии и нутации, требует определённой крутизны и величины хода нарезов и зависит от динамических характеристик пули: массы, осевого и экваториального моментов инерции, местоположения центра масс, центра сопротивления воздуха, аэродинамических характеристик. Поэтому шаг нарезов связан с этими характеристиками зависимостью

$$\eta = a\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{A}{B}\cdot\frac{\mu}{z}\cdot\frac{C_q}{K_м}}, \qquad (4.24)$$

где $a = 0{,}75\ldots0{,}85$ – коэффициент запаса энергии; A – осевой момент инерции пули (относительно продольной геометрической оси); B – экваториальный момент инерции пули (относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести); $\mu = \dfrac{4A}{m\cdot d^2}$ – коэффициент инерции; $z = \dfrac{h_ц}{d}$ – расстояние между ц.т. и ц.с., выраженное в калибрах;

$$z = \frac{h_0 + 0{,}57h_1}{d} - 0{,}16\,; \qquad (4.25)$$

$K_м = K'_м\sqrt{\dfrac{l_п}{4{,}5d}}$ – аэродинамическая функция; h_0 – расстояние от центра тяжести пули до основания её оживальной части; $K'_м$ –

табличное значение функции для пули длиной $l_п$=4,5d, зависящее от скорости. Значения $K'_м$ приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значение функции $K'_м$

V, м/с	$K'_м \cdot 10^3$	V, м/с	$K'_м \cdot 10^3$	V, м/с	$K'_м \cdot 10^3$
200	0,97	450	1,04	700	0,96
280	0,98	500	1,03	740	0,95
300	1,00	520	1,02	800	0,93
320	1,03	540	1,01	850	0,92
340	1,06	580	1,00	900	0,91
400	1,07	600	0,99	1000	0,90
420	1,06	640	0,98	1100	0,89
440	1,05	680	0,97	1500	0,80

Для авиационного оружия, стреляющего по курсу движения самолёта вперёд, длина хода нарезов должна быть меньше (нарезы круче) по сравнению с наземным оружием и будет зависеть также от скорости самолёта. С учётом суммарной скорости самолёта и пули ($V_п+V_{см}$) длину хода нарезов можно определить так:

$$\eta_{см} = \frac{V_п}{V_п + V_{см}} \cdot \eta , \qquad (4.26)$$

где η – длина хода нарезов для наземного оружия – определяется по зависимости (4.24).

Для обеспечения стабильного полёта пуль различной конструкции необходимо, чтобы расчётные значения длины хода нарезов были не меньше длины хода нарезов оружия, из которого ведётся стрельба.

Если угол наклона образующей нарезов одинаков на всей длине канала ствола, то такие нарезы называют нарезами постоянной крутизны. Если угол наклона образующей плавно увеличивается от казённой части к дульному срезу, то такие нарезы называют нарезами прогрессивной крутизны. Уравнение образующей нарезов прогрессивной крутизны, развёрнутой на плоскости, принимают обычно в виде параболы (рис. 4.6):

$$y = Kx^2 ,$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dy}{dx} = 2Kx = K_\alpha \cdot l_д ,$$

где K_α=0,0005...0,001.

Таким образом, с помощью винтовых нарезов пуле придают ротационное вращение. По вылете из канала ствола в результате действия опрокидывающего момента пуля в полёте совершает правильные колебания и своей головной частью описывает круговые движения относительно траектории. При этом продольная ось пули как бы следит за траекторией, описывая вокруг неё коническую поверхность. Очевидно, что чем больше скорость движения пули и чем она длиннее, тем сильнее воздух стремится опрокинуть её. Поэтому для стабилизации пулям патронов различного оружия необходима разная скорость вращения. Так, лёгкая пуля к патрону клб.7,62 мм имеет скорость вращения 3600 об/с, а пуля, выпущенная из малокалиберной винтовки, – всего 830 об/с.

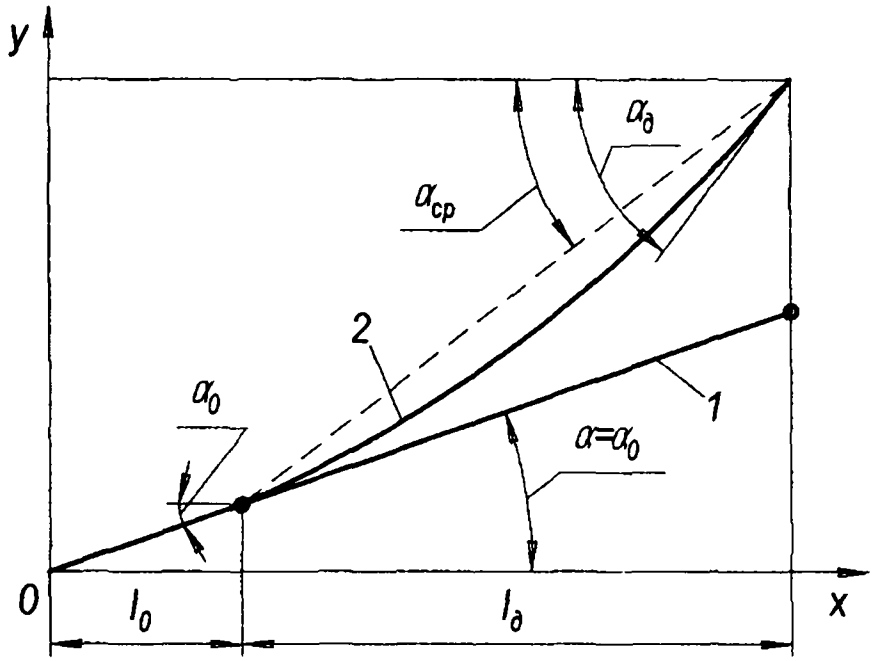


Рис. 4.6. Изменение крутизны образующей нарезов: кривая *1* – постоянная крутизна: кривая *2* – прогрессивная крутизна

Интегральная оценка стабилизации пули на полёте осуществляется путем расчёта коэффициента гироскопической устойчивости в точке вылета, где условия наиболее неблагоприятны и действие составляющих силы сопротивления воздуха максимально:

$$\sigma_0 = \sqrt{1 - \frac{\eta^2 \cdot z \cdot B}{\mu \cdot C_q \cdot A} \cdot \frac{4}{\pi^2} \cdot K_м \cdot i}\,, \qquad (4.27)$$

здесь $C_q = \frac{q_п}{d^3}$ – коэффициент веса пули.

Коэффициент веса зависит также от линейных характеристик и более точно может быть рассчитан по эмпирическим зависимостям М.С.Шерешевского:

– для пуль со стальным сердечником

$$C_q = 7{,}25\frac{l_п}{d}\left(1 - 0{,}5\frac{h_1}{l_п}\right); \qquad (4.28)$$

– для пуль со свинцовым сердечником

$$C_q = 8{,}40\frac{l_п}{d}\left(1 - 0{,}5\frac{h_1}{l_п}\right). \qquad (4.29)$$

Чем тяжелее пуля, тем большей кинетической энергией она обладает, тем меньше влияет на её полёт сила сопротивления воздуха. Однако способность пули сохранять свою скорость зависит не просто от её веса, а от отношения веса к площади поперечного сечения. Эту характеристику называют поперечной нагрузкой:

$$A_{п\,ч} = \frac{q_п}{0{,}82 \cdot d^2}. \qquad (4.30)$$

Поперечная нагрузка тем больше, чем больше масса пули и меньше ее калибр. Следовательно, при одинаковом калибре она больше у длинной пули. Пуля с увеличенной поперечной нагрузкой имеет большую дальность полёта и настильную (отлогую) траекторию.

Однако есть и предел повышения поперечной нагрузки, так как при одном и том же калибре возрастает общий вес пули, а следовательно, и отдача оружия. Увеличение же поперечной нагрузки за счёт чрезмерного удлинения пули вызовет значительное опрокидывающее действие силы сопротивления воздуха.

Стабилизация пули на полёте за счёт придания ей вращательного движения имеет еще одну особенность. На вращающуюся пулю оказывает опрокидывающее действие сила сопротивления воздуха, и поэтому её головная часть описывает вокруг траектории окружность. В результате сложения этих двух вращательных движений возникает новое движение, отклоняющее её головную

часть вправо от направления стрельбы. При этом одна боковая поверхность пули подвергается давлению воздуха больше, другая меньше. Это взаимодействие движений и отклоняет пулю в сторону. Боковое отклонение вращающейся пули от плоскости стрельбы в сторону её вращения называется деривацией. Угловой характеристикой отклонения пули от линии стрельбы является второй динамический угол $\delta_{2р}$:

$$\delta_{2р} = \frac{\pi}{2g} \cdot \frac{\mu}{\eta} \cdot \frac{C_q}{z} \cdot \frac{V_0}{V_c^3} \cdot \frac{d}{K_м}, \qquad (4.31)$$

где V_c – скорость пули у цели.

По мере удаления пули от дульного среза оружия деривация её быстро и прогрессивно нарастает. Для пуль при стрельбе на среднюю дистанцию $\delta_{2р}$=15′...20′, а отклонение от точки прицеливания на дистанции 300 м составляет 20 мм, на дистанции 600 м – 120 мм. Деривацию необходимо учитывать при настройке прицелов.

4.4. Дальность прямого выстрела

Качественной характеристикой, определяющей баллистическое совершенство пули в сочетании с начальной скоростью, является дальность прямого выстрела – та дальность, при стрельбе на которую максимальное возвышение траектории полёта пули не превосходит высоту заданной цели. Поэтому при стрельбе на меньшие дальности траектории тем более не превышают высоту цели. В этом случае с одной установки прицела, соответствующей дальности прямого выстрела, можно поражать заданную цель на любой меньшей дистанции (рис. 4.7).

Чем больше дальность прямого выстрела (чем настильнее траектория), тем меньше влияние ошибок на определение расстояния до цели (в установке прицела) и на эффективность её поражения. Следовательно, требуется меньшая поправка прицеливания при стрельбе по движущейся цели, поскольку время полёта пули до цели меньше. При настильной траектории в меньшей степени влияют ошибки, например, в определении упреждённой точки и действие бокового ветра на результаты стрельбы.

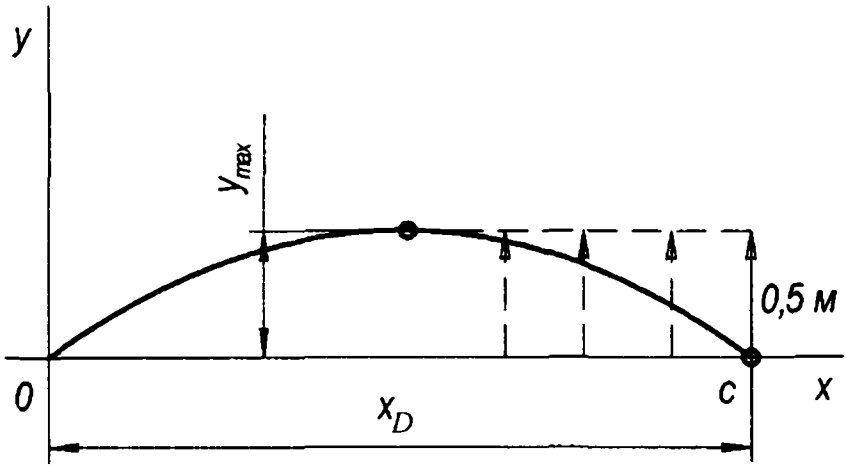


Рис. 4.7. Дальность прямого выстрела

Дальность прямого выстрела определяют исходя из полётного времени пули. Время подъёма пули на высоту Y и свободного падения с этой высоты устанавливается выражением

$$\tau = 2\sqrt{\frac{2Y}{g}}. \qquad (4.32)$$

Горизонтальная дальность полёта за это время

$$X_D = V_{\text{ср}} \cdot \tau, \qquad (4.33)$$

а средняя скорость полёта пули

$$V_{\text{ср}} = 0{,}5(V_0 + V_c),$$

где V_0, V_c – начальная скорость и скорость пули на дальности X_D. Если принять высоту максимального возвышения траектории равной высоте погрудной мишени Y=0,5 м и учесть нелинейность изменения скорости пули на полёте, то

$$X_D = 0{,}5 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}5}{9{,}8}} \cdot 0{,}975(V_0 + V_c), \; X_D = 0{,}312(V_0 + V_c). \qquad (4.34)$$

В формуле X_D и V_c неизвестны. Для раскрытия неопределённости поступают следующим образом:

– задаются начальным значением X_{D1};

– устанавливают погрешность определения дальности прямого выстрела ΔX_D;

– по основному баллистическому уравнению рассчитывают значение функции $D(V_{c1})$:

$$D(V_{c1}) = C \cdot X_{D1} + D(V_0);$$

– по таблицам стрельбы (прил.1) устанавливают V_{c1};

– рассчитывают по (4.34) значение X_{D2}:

$$X_{D2} = 0{,}312(V_0 + V_{c1});$$

– сравнивают разность

$$|X_{D1} - X_{D2}| < \Delta X_D. \qquad (4.35)$$

Если неравенство выполняется, то принимают X_{D2} равной дальности прямого выстрела. Если неравенство не выполняется, то итерацию проводят до выполнения неравенства (4.35).

Известны и другие способы определения дальности прямого выстрела, как аналитические, так и практические. Для средних калибров боевого оружия дальность прямого выстрела находится в пределах 300...500 м.

Пример 4.2. Определить дальность прямого выстрела при стрельбе из автомата АК-74 пулями 7Н6: V_0=910 м/с, d = 5,45 мм, $q_п$ = 3,4 г, $i \approx 1$, погрешность определения дальности прямого выстрела ΔX_D= ±10 м.

Решение. Принимаем X_{D0}=400 м. Рассчитываем баллистический коэффициент $C = \dfrac{id^2}{q_п} \cdot 10^{-3} = \dfrac{1{,}0 \cdot 5{,}45^2}{3{,}4} \cdot 10^{-3} = 8{,}7.$ По прил. 1 устанавливаем: для V_0=910 м/с $D(V_0)$=6300.

По основному баллистическому уравнению определяем

$$D(V_{C1})=8.7 \cdot 400+6300=9780 \approx 9800,$$

$$V_{C1}=543{,}4 \text{ м/с (см. прил.1).}$$

Подставляем значение скорости V_{C1}=543,4 м/с в формулу (4.34) и определяем X_{D1}:

$$X_{D1}=0{,}312(910+543{,}4)=453 \text{ м.}$$

Производим сравнение

$$|X_{D0} - X_{D1}| = 53 > \Delta X_D.$$

Поскольку разность между первоначально принятым значением дальности X_{D0} и рассчитанным X_{D1} больше погрешности ΔX_D, продолжаем расчёт:

$$D(V_{C2})=8{,}7 \cdot 453+6300=10295 \approx 10300,$$

$$V_{C2}=499{,}2 \text{ м/с,}$$

$$X_{D2}=0{,}312(910+499{,}2)=439{,}6 \text{ м.}$$

Производим сравнение

$$|X_{D1} - X_{D2}| = 13{,}8 > \Delta X_D.$$

Разность между рассчитанными значениями дальностей больше допустимой, поэтому продолжаем итерацию:

$$D(V_{C3}) = 8{,}7 \cdot 439{,}6 + 6300 = 10121 \approx 10100,$$

$$V_{C3} = 516{,}6 \text{ м/с},$$

$$X_{D3} = 0{,}312(910 + 516{,}6) = 445 \text{ м},$$

$$|X_{D2} - X_{D3}| = 5{,}4 < \Delta X_D.$$

Неравенство выполнено. Следовательно, можно считать, что дальность прямого выстрела для рассматриваемой системы составляет $X_D = 445$ м.

При разработке нового патрона с несколькими видами пуль, а также при проектировании новых пуль к существующим образцам оружия встаёт задача о сопряжении траекторий. Это вызвано необходимостью иметь одну шкалу прицела для стрельбы различными пулями и возможность использовать единые таблицы баллистических расчётов и поправок на условия стрельбы (ветра, температуры, плотности воздуха и т.п.).

При решении такой задачи одной из пуль отдаётся предпочтение и её называют основной. Другую пулю, траектория которой подлежит сопряжению с траекторией основной пули, называют сопрягаемой.

Получить одинаковые траектории различных пуль во времени и в пространстве, в принципе, нельзя, возможно лишь максимальное сближение траекторий сопрягаемой и основной пуль на дальностях применения данного вида оружия. Влиять на характер траектории полёта можно путем изменения её массы, начальной скорости, формы и размеров. Увеличение давления пороховых газов для повышения скорости обычно не допускается, так как это снижает надёжность работы оружия и живучесть ствола, а уменьшение скорости пули снижает эффективность действия по цели. Поэтому при сопряжении траекторий приходится варьировать динамические характеристики – соотношение масс, размеров и формы элементов и пули в целом. С учётом сказанного траектории двух пуль можно считать сопряжёнными, если при одинаковых углах бросания θ_0 дальности прямого выстрела равны.

Для основной пули связь величин θ_0 и дальности стрельбы X известна, поэтому её можно использовать для отыскания соответ-

ствующих значений баллистического коэффициента и коэффициента формы сопрягаемой пули, воспользовавшись вспомогательными функциями f_0 и f_1 (прил. 2):

$$f_0 = C \cdot \sin 2\theta_0, \tag{4.36}$$

$$f_1 = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{x}. \tag{4.37}$$

Введём для сопрягаемой пули индекс 1. Тогда для одинаковых углов бросания и дальностей получим

$$f_{11} = f_1 \left(\frac{V_{01}}{V_0} \right)^2. \tag{4.38}$$

Имея значения f_{11} и V_{01}, по таблице функций f_1 находим значение $[C_1 \cdot X]$, а приняв во внимание характерную дальность (например, дальность прямого выстрела), получим значения баллистического коэффициента и коэффициента формы сопрягаемой пули:

$$C_1 = \frac{[C_1 \cdot X]}{X}; \qquad i = \frac{C_1 \cdot q_п}{d^2} \cdot 10^{-3}.$$

Пользуясь значениями углов бросания и дальностей для основной пули, можно определить функцию f_{01} для сопрягаемой пули, а по значениям f_{01} и V_{01} найти в таблице функций f_0 величину $[C_1 \cdot X_1]$ и соответствующее значение X_1. По расхождению X и X_1 можно судить о степени сопряжения траекторий в пространстве. Это расхождение допускается обычно не более 1/3 деления прицела. Используя указанную методику, можно провести сопряжение траекторий путём изменения (незначительного) угла бросания θ_{01}.

Пример 4.3. Произвести сопряжение траекторий 7,62-мм пули с $q_п$=7,5 г, V_0=730 м/с с траекторией пули обр. 1943 г., имеющей $q_п$=7,9 г, V_0=710 м/с на дальностях до 600 м. Допустимое расхождение траекторий – не более 1/3 деления прицела.

Решение. В качестве характерной дальности принимаем 400 м, а в качестве контрольных дальностей 200 и 600 м. Для основной пули по таблицам стрельбы для автомата АК дальности 400 м соответствует скорость пули V_c=389 м/с. Для этой скорости определим баллистический коэффициент, пользуясь таблицами основных функций (прил.1):

$$C = \frac{D(V_c) - D(V_0)}{X} = \frac{11090 - 8090}{400} = 7,5.$$

Определяем значение вспомогательной функции f_1 для основной пули и характерной дальности, пользуясь значениями $C \cdot X = 7,5 \cdot 400 = 3000$, $V_0 = 710$ м/с и таблицами этой функции (прил.2). Получаем 13,75. Определяем значение функции f_1 для сопрягаемой пули, пользуясь выражением (4.38):

$$f_{11} = 13,75\left(\frac{730}{710}\right)^2 = 14,6.$$

По значениям f_{11} и $V_0 = 730$ м/с находим в таблице функций f_0 значение $C_1 \cdot X = 3500$ и определяем для характерной дальности необходимый баллистический коэффициент сопрягаемой пули:

$$C_1 = \frac{3500}{400} = 8,75.$$

Определяем значение $C \cdot X$ для основной пули и контрольной дальности 200 м:

$$C \cdot X = 7,5 \cdot 200 = 1500.$$

По этому значению и начальной скорости $V_0 = 710$ м/с находим в прил. 2 значение функции $f_1 = 11,48$.

Пользуясь выражением (4.37), находим

$$\sin 2\theta_0 = 11,48\frac{200}{710^2} = 0,00456.$$

По выражению (4.36) определяем для сопрягаемой пули

$$f_{01} = C_1 \cdot \sin 2\theta_0 = 8,75 \cdot 0,00456 = 0,03990.$$

По этому значению f_{01} и $V_{01} = 730$ м/с в прил.2 находим для сопрягаемой пули $C_1 \cdot X_1 = 1795$. Разделим полученное значение $C_1 \cdot X_1$ на C_1, определим дальность для сопрягаемой пули:

$$X_1 = \frac{1795}{8,75} = 205 \text{ м}.$$

По условию задачи допускается расхождение дальности полёта сопрягаемой пули и контрольной дальности 33,3 м. Получено расхождение 5 м. Следовательно, на дальности 200 м траектории обеих пуль сопрягаются.

Определим степень сопряжения траекторий на контрольной дальности 600 м, произведя аналогичные расчёты, начиная с определения значения $C{\cdot}X$:

$$C{\cdot}X=7{,}5{\cdot}600=4500; f_1=16{,}94;\ \sin 2\theta_0 = 16{,}94\frac{600}{710^2} = 0{,}0202;$$

$$f_{01}=8{,}75{\cdot}0{,}0202=0{,}1765;\ C_1{\cdot}X_1=5108;\ X_1 = \frac{5108}{8{,}75} = 585\ \text{м}.$$

Таким образом, и на дальности 600 м траектории сопрягаются, так как отклонение составляет 15 м (допускаемое значение 33,3 м). На дальности 400 м сопряжение траекторий также обеспечено.

Убедившись, что принятое значение баллистического коэффициента сопрягаемой пули обеспечивает сопряжение траекторий, можно определить коэффициент формы сопрягаемой пули:

$$i_{43} = C_1 \cdot \frac{q_{n1}}{d^2} \cdot 10^3 = 8{,}75\frac{7{,}5\cdot 10^{-3}}{7{,}62^2 \cdot 10^{-6}} = 1{,}13$$

и подобрать её форму и соотношение масс элементов.

4.5. Рассеивание пуль

При одинаковых условиях стрельбы каждая пуля, выпущенная из одного и того же оружия, описывает свою траекторию, отличающуюся от траектории других пуль. Внешнебаллистические параметры оружия и патронов имеют неизбежный разброс, на который влияют метеорологические и другие факторы. Это выражается в рассеивании пуль при попадании в цель. При значительном количестве выстрелов траектории в своей совокупности образуют сноп траекторий, который при встрече с мишенью даёт ряд пробоин, расположенных на разных расстояниях друг от друга. Площадь, которую они покрывают, называется площадью рассеивания.

На рассеивание пуль влияет множество факторов, которые могут быть сгруппированы в зависимости от оружия и условий его использования, от патрона, его баллистических и конструктивных характеристик, точности изготовления, срока хранения и т.д., от метеорологических условий стрельбы, от профессиональной подготовки и навыков стрелка.

Патрон и его характеристики составляют примерно одну треть от общей массы факторов, влияющих на рассеиваемость пуль при стрельбе. Из них наиболее важными следует считать:

- баллистические и динамические характеристики пуль;
- устойчивость пуль на полёте по траектории;
- конструктивные особенности пуль;
- физико-химические свойства и конструкцию порохового заряда;
- степень точности изготовления пули, её элементов и патрона в целом.

При большом количестве выстрелов пробоины на мишени располагаются на площади рассеивания неравномерно, наиболее кучно сосредоточиваясь вокруг некой точки, которая называется средней точкой попадания (СТП). Чем кучнее к СТП располагаются пробоины, тем выше качество стрелкового комплекса (оружия и патрона). Наилучшую кучность даёт стрельба тяжёлыми пулями с большой начальной скоростью, что обеспечивает более настильную траекторию. Частичное нарушение устойчивости пуль на полёте заметно сказывается на кучности пробоин. Необходимая устойчивость пуль достигается оптимальной длиной хода нарезов (крутизны), которая зависит от динамических характеристик. Существенно влияют на стабильный полёт правильность формы, плотность монтажа элементов, их разностенность, биение вершины пули относительно её ведущей части и другие факторы, которые предопределены технологией изготовления пуль.

Неблагоприятные условия для кучной стрельбы создаются при усложнении конструкции пуль и увеличении количества внутренних элементов, её компонующих. Особо следует выделить трассирующие пули, которые имеют в 1,5...2,0 раза большее рассеивание в сравнении с обыкновенными пулями. Здесь следует обратить внимание на то, что в процессе полёта трассирующая пуля теряет массу, при этом нарушается её динамическая сбалансированность, что негативно сказывается на стабилизации и кучности.

Пули с большой поперечной нагрузкой имеют лучшую кучность. В этом отношении предпочтительнее стрельба пулями со

свинцовым сердечником или с более толстой свинцовой рубашкой. Они также меньше изнашивают нарезы канала ствола. Для обеспечения хорошей кучности стрельбы оперёнными пулями, кроме эффективного стабилизатора, требуется придание пуле вращательного движения для гашения боковых составляющих силы сопротивления воздуха.

Однородность и стабильность физико-химических характеристик и особенности конструкции порохового заряда также заметно воздействуют на рассеивание пуль, поскольку они влияют на скорость горения, величину и разброс максимального давления, а следовательно, и на начальную скорость пули.

Большое влияние на рассеивание пуль при стрельбе оказывают точность изготовления патронов, их элементов, надёжность монтажа и общая культура патронного производства. Важное значение имеют точность навески порохового заряда, ударного состава и его чувствительность, точность массы, формы, диаметра ведущей части пули, величины извлекающего усилия. Особо следует обратить внимание на наличие разностенности у оболочек, пиростаканов, свинцовых рубашек, которая определяет эксцентриситет положения центра масс относительно геометрической оси. Перераспределение масс элементов и наличие эксцентриситета являются причиной возникновения и действия радиальной силы, увеличивающей радиус прецессии и приводящей к ухудшению кучности. Биение вершины пули может изменить угол нутации и существенно дестабилизировать пулю. Особого внимания требует вопрос о взаимовлиянии допусков на линейные диаметральные размеры и комплексное воздействие на динамичность пули и её стабилизацию.

Повышение точности изготовления патронов и их элементов противоречит требованиям экономической целесообразности и условиям массового характера их производства. В настоящее время приемлемая точность изготовления отработана практикой, что, в свою очередь, не даёт возможности выделить те важнейшие параметры, которые требуют более строгого и точного выполнения. Только в особых случаях установленные нормативы точности можно изменять в сторону ужесточения допусков, например при изготовлении партий образцовых или целевых (спортивных) патронов.

Для количественной оценки рассеивания пуль (попаданий) используют ряд характеристик, в том числе радиусы, сердцевинные полосы, поперечник рассеивания и другие. Все они связаны с определением средней точки попадания (СТП). При производстве группы выстрелов n (10 и более) координаты СТП определяют как среднее арифметическое:

$$x_{\text{стп}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \,, \quad y_{\text{стп}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \,. \tag{4.39}$$

Для этого на мишени проводят оси прямоугольных координат (рис. 4.8, *а*), измеряют координаты X, Y каждой пробоины, суммируют и определяют $X_{\text{стп}}$ и $Y_{\text{стп}}$ как средние арифметические значения.

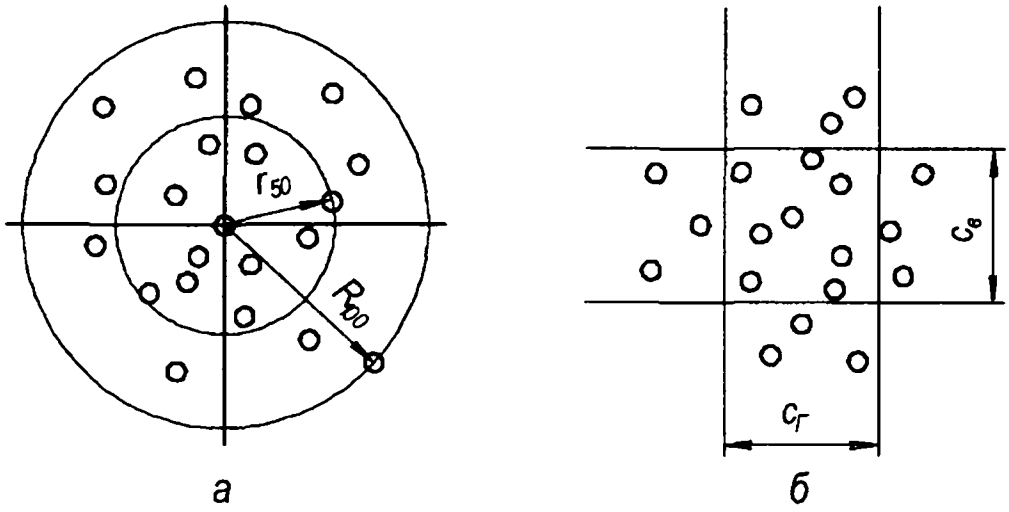


Рис. 4.8. Радиусы рассеивания (*а*) и сердцевинные полосы (сердцевина) рассеивания (*б*) пробоин пуль

Можно применить графический способ определения местоположения СТП как точки пересечения горизонтальной и вертикальной линий, каждая из которых делит все пробоины пополам. При этом соблюдается правило: расстояния до ближайших двух пробоин, расположенных с обеих сторон, должны быть одинаковыми.

Количественной оценкой степени рассеивания пробоин считают радиус рассеивания R_{100} и r_{50}. R_{100} – расстояние от СТП до наиболее удалённой пробоины, т.е. круг, описанный этим радиусом с центром в СТП, охватывает 100% пробоин. Радиус рассеи-

вания r_{50} определяется как радиус круга с центром в СТП, вмещающего 50% пробоин, наиболее близко расположенных к СТП. Практически между радиусами рассеивания наблюдается такая связь: R_{100}= (1,45...1,50) r_{50}.

Сердцевинные полосы рассеивания по вертикали ($C_в$) и по горизонтали ($C_г$) включают по 70% пробоин и определяются при 20 и более выстрелах в группе. Для определения $C_в$, например, проводят две горизонтальные линии так, чтобы за ними сверху и снизу оставалось по 15% пробоин, расстояния от каждой линии до ближайших пробоин по обе стороны должны быть одинаковыми. Аналогично определяется $C_г$, только для этого проводят две вертикальные линии (рис. 4.8, *б*). При пересечении сердцевинных полос образуется прямоугольник с площадью $C_в \cdot C_г$, называемый сердцевиной рассеивания, который часто принимается в качестве самостоятельной характеристики, охватывая 49% пробоин (0,7·0,7=0,49).

В некоторых случаях, например при испытании патронов к гражданскому оружию, оценивают поперечник рассеивания – расстояние между двумя наиболее удалёнными пробоинами серией из пяти выстрелов.

Приведённые способы определения характеристик рассеивания просты и надёжны, однако нередко привносят элементы субъективизма в оценку кучности боя патронов. Развиваются и другие способы, основанные на вероятностном подходе к расчёту распределения совокупности случайных величин.

5. КОНСТРУКЦИИ ПУЛЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ИХ ПО ЦЕЛЯМ

5.1. Общие положения

Пуля является основным элементом патрона, предназначенным для поражения цели. На этапе эскизного проектирования патрона основное внимание уделяют разработке конструкции пули, придерживаясь определённой последовательности выполнения работ:

– анализ технического задания (ТЗ) и тактико-технических требований (ТТТ);

– выбор вида и ориентировочно конструктивных параметров пули ($m_п$, d, $l_п$ и др.);

– разработка вариантов конструкции пули;

– оценка эффективности действия пуль по целям;

– расчёт динамических и баллистических характеристик пуль;

– расчёт прочностных характеристик и оценка надёжности функционирования пуль при выстреле;

– сравнительная оценка оптимального варианта конструкции пули;

– окончательное определение линейных, динамических и баллистических характеристик, уточнение результатов расчёта прочности элементов и надёжности функционирования пули при выстреле.

Проработка и анализ технического задания и тактико-технических требований позволяет определить главную задачу, которую должны выполнять патрон и стрелковый комплекс в целом, исходя из концепции применения боевого оружия. Вводятся дополнительные требования по эффективности действия боеприпаса (например, для бронебойно-зажигательных пуль – повышение запреградного действия, достижение возможности зажигания тяжёлых видов топлива и т.п.) при сохранении уже имеющихся решений, например, обеспечение невозможности срыва пули с нарезов канала ствола, надёжная стабилизация её на полёте и др. Устанавливаются калибр и вид оружия, предпочтительные режимы стрельбы.

При определении вида пули и ориентировочных конструктивных параметров необходимо исходить из того, что пуля – это баллистический снаряд, имеющий нередко сложную конструкцию, насыщенную множеством элементов, в том числе зажигательных, трассирующих и взрывчатых веществ. В этом смысле она мало чем отличается от артиллерийского снаряда. Калибр не является признаком, по которому можно отличить пулю от снаряда, так как пределы стрелкового оружия и артиллерии расширялись, образуя сплошной ряд. Поэтому условно пуля и снаряд различаются конструкцией ведущего устройства: снаряд врезается в нарезы канала ствола специальным ведущим пояском, а пуля – цилиндрической частью оболочки.

Все пули делятся на обыкновенные и специальные.

Обыкновенные пули просты по устройству и предназначаются, в основном, для поражения живой силы противника. Они обладают убойным, останавливающим, пробивным действием и применяются в пистолетных, автоматных, винтовочных и даже крупнокалиберных (снайперских) патронах стрелкового оружия.

Специальные пули характеризуются, кроме убойного, останавливающего, пробивного, ещё и специальным действием и предназначаются преимущественно для поражения защищённого противника и его боевой техники.

По сочетанию видов действия все пули делят на пули простого действия и комбинированные. Пули простого действия – обыкновенные и специальные: бронебойные, зажигательные, трассирующие, разрывные; пули комбинированные сочетают несколько специальных действий: бронебойно-трассирующие, бронебойно-зажигательные, пристрелочно-зажигательные, бронебойно-зажигательно-трассирующие и др. По существу пули специального действия также можно считать комбинированными, так как, кроме специального, они реализуют действия, присущие простым пулям.

Усложнение конструкций комбинированных пуль не всегда оправдано, так как предполагает множество конструктивных элементов, сложность изготовления и невозможность строгой стабилизации таких пуль на полёте. Поэтому преобладающими в номенклатуре патронов являются простые пули – обыкновенные и специальные простого и реже комбинированного действий, ко-

торые в настоящее время применяют в патронах всех стрелковых систем.

5.2. Обыкновенные пули

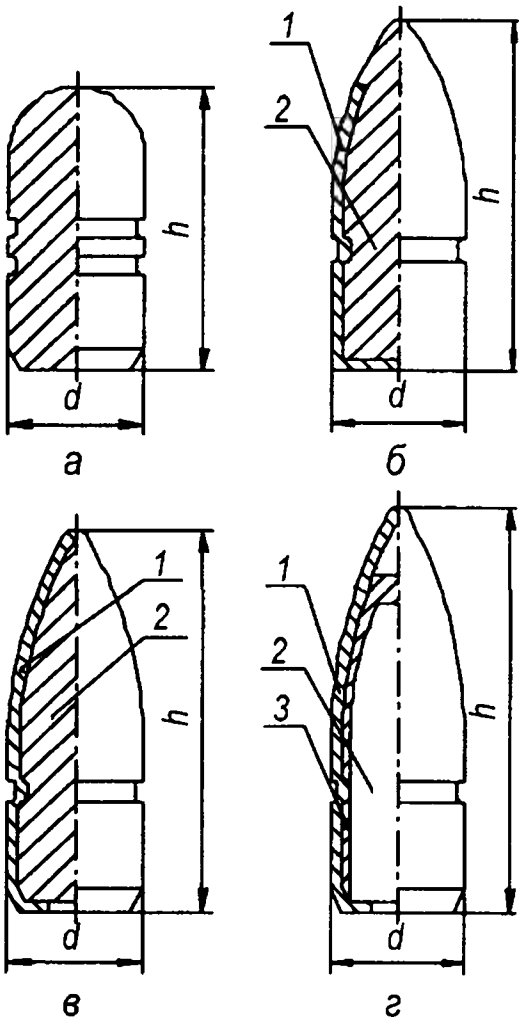


Рис. 5.1. Обыкновенные пули: *а* – одноэлементная безоболочечная; *б* – двухэлементная полуоболочечная, экспансивная; *в* – двухэлементная со свинцовым сердечником: *г* – трёхэлементная со стальным сердечником; *1* – оболочка; *2* – сердечник; *3* – свинцовая рубашка

Обыкновенные пули можно разделить на три разновидности: одноэлементные безоболочечные, двухэлементные оболочечные и полуоболочечные и трёхэлементные оболочечные.

Наиболее простое устройство имеют безоболочечные пули (рис. 5.1, *а*), которые в настоящее время принимают для патронов малокалиберных спортивных и охотничьих винтовок и пистолетов.

Основным недостатком таких пуль является невысокая прочность свинца, из которого они изготавливаются. Обладая хорошей пластичностью, свинец не обеспечивает надёжное сцепление ведущей части пули с боевой гранью нарезов. При повышении давления пороховых газов происходят срыв пули с нарезов и её дестабилизация на полёте. Поэтому свинцовые одноэлементные пули в боевых системах в настоящее время не применяются из-за ограничения начальной скорости и дальности стрельбы.

Кроме того, использование свинцовых одноэлементных пуль автоматического оружия не удовлетворяет требованиям надёжной работы механизма перезаряжания из-за частичного испарения свинца и оседания его частиц на отводящих пороховые газы магистралях.

Оболочечные пули лишены этих недостатков (рис. 5.1, *б*). Свинцовый сердечник облачён в оболочку из прочного и пластичного материала (например, томпака, биметалла или мягкой стали). Такое устройство пуль обеспечивает сравнительно лёгкое вхождение в нарезной канал ствола и надёжное ведение по нарезам без срывов. Полуоболочечные пули имеют незамкнутый контур вершины оболочки (рис. 5.1, *в*). Они относятся к разновидности экспансивных пуль. При встрече с преградой выступающая свинцовая вершина деформируется, вжимаясь внутрь, где создаётся значительное радиальное давление, разрывающее оболочку. Эффект разрыва оболочки способствует нанесению тяжёлого ранения и увечья при попадании в живую цель. По этой причине такие конструкции пуль были запрещены Гаагской декларацией 1899 г. и не приняты на вооружении армией.

Наиболее широко патроны с экспансивными пулями применяют для охотничьего нарезного оружия в диапазоне калибров от 5,45 до 9,0 мм. С целью усиления разрывного действия для некоторых экспансивных пуль применяют ослабленные оболочки с наружными и внутренними продольными надрезами. Экспансивные пули по своему действию можно разделить на три разновидности: с ограничением экспансивности, без ограничения экспансивности, разламывающиеся на отдельные сектора или осколки.

Пули с ограничением экспансивности состоят из томпаковой оболочки, разделённой стенкой на две части: ослабленную головную и прочную хвостовую. В обеих частях имеется сердечник (рис. 5.2, *а*). Попадая в живой организм, головная часть разворачивается, а хвостовая, оставаясь целой, обеспечивает достаточную глубину проникания в цель. Возможны и другие варианты конструкций, например с полостью в сердечнике (рис. 5.2, *б*).

Пули без ограничения экспансивности (без ограничения диаметра разворота) обычно имеют открытую вершину головной части и насечку на оболочке, ослабляющие её прочность (рис. 5.2, *в*, *г*). В пулях, разламывающихся на сектора, кроме ослабленной оболочки предусмотрен сердечник, состоящий из двух-трёх секторов.

Экспансивные пули надёжно срабатывают на дальности до 300 м при условии, что кинетическая энергия у цели должна быть не менее E=190...200 Дж.

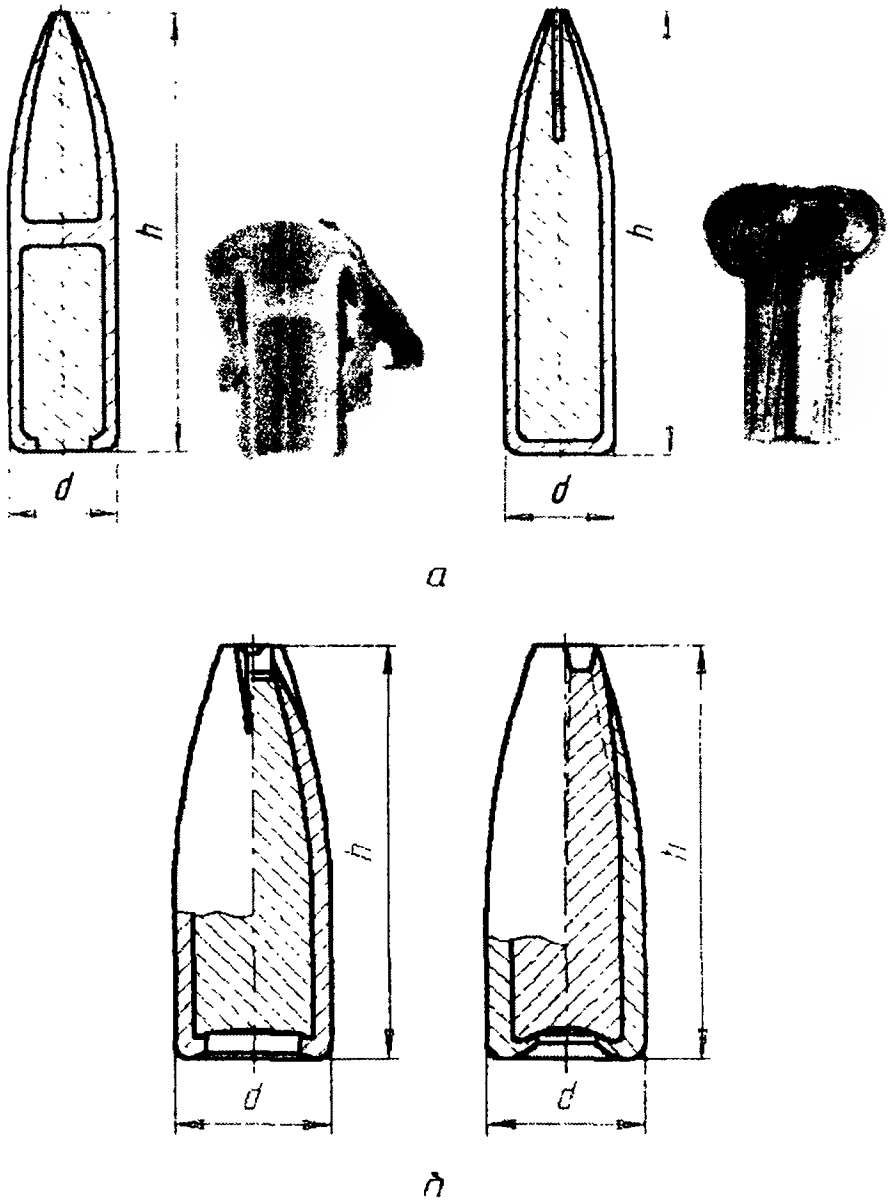


Рис. 5.2. Экспансивные пули: *а* – с ограничением диаметра разворота: *б* – без ограничения диаметра разворота (с продольными надрезами оболочки)

В трёхэлементных пулях часть свинца заменена на стальной сердечник. Такая конструкция снижает себестоимость изготовления пуль и повышает их пробивное действие. Эффективность действия трёхэлементных пуль может быть увеличена за счёт применения полуоболочечной конструкции, в которой стальной сердечник выступает из открытой носовой части оболочки (рис. 5.3, *а*).

Наличие в конструкции прочного стального сердечника делает пулю менее склонной к деформации, исключает экспансивный эффект при попадании в живую цель и способствует увеличению пробивного и проникающего действий. В тех случаях, когда пуля разрушается, её пробивная способность обеспечивается сердечником. Основным недостатком трёхэлементных пуль является их меньшая динамическая сбалансированность по сравнению с одно- и двухэлементными. Это объясняется, прежде всего, технологическими факторами, т.е. появлением несоосности и радиального эксцентриситета между геометрической осью симметрии и фактическим радиальным расположением центра масс при сборке пуль. Кроме того, из-за недоштамповки возможно незаполнение (недогонка) носика пули свинцом, что приводит к смещению центра масс пули к хвостовой части и увеличению расстояния до центра сопротивления воздуха. В результате возрастает опрокидывающий момент от силы сопротивления воздуха, пуля становится неустойчивой на полёте и при попадании в цель может резко изменить направление движения и нанести тяжёлое ранение.

Однако в некоторых случаях для усиления пробивного эффекта специально предусматривается смещение центра масс к хвостовой части пули. Примером может служить оригинальная конструкция пули к патрону НАТО, известная под индексом SS109 (рис. 5.3, *б*). В оболочке из томпака последовательно расположены стальной сердечник и свинцовый балласт. Большая плотность свинца предполагает координацию центра масс ближе к хвостовой части пули.

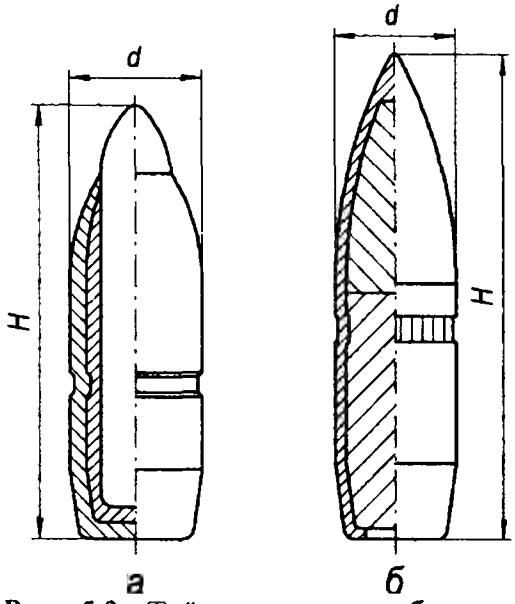


Рис. 5.3. Трёхэлементные обыкновенные пули: *а* – полуоболочечная; *б* – с комбинированным сердечником (SS109)

Поэтому для стабилизации её на полёте требуется большая скорость вращения, а следовательно, увеличение крутизны образующей нарезов канала ствола. В этом случае такие конструктивные изменения оправданы, поскольку повышается эффект проби-

тия прочных преград и средств защиты примерно в 1,2...1,4 раза по сравнению с эффектом действия трёхэлементных пуль традиционной конструкции.

Возможны и другие решения по компоновке обыкновенных пуль, позволяющие обеспечивать заданное боевое действие, простое технологическое решение и экономию дефицитного материала.

К материалам, которые применяют для изготовления элементов обыкновенных пуль, предъявляют ряд жёстких требований: высокая пластичность, необходимая при изготовлении оболочек холодной штамповкой и создающая условия надёжного врезания пули в нарезы канала ствола; достаточная прочность, исключающая срыв с нарезов и демонтаж пули при выстреле; высокие антифрикционные свойства для снижения износа канала ствола; антикоррозионная стойкость, необходимая для обеспечения благоприятных условий технологической обработки и хранения патронов, невысокая стоимость и недефицитность.

Изначально лучшим материалом для оболочек считался мельхиор (сплав 78...80% меди и 19...20% никеля), но в настоящее время применяют более дешёвые материалы. В отечественном производстве широко используют биметалл-3, основу которого составляет сталь 11кп, плакированная томпаком Л90. Томпак – сплав 89...90% меди и 9...11% цинка – покрывает сталь с двух сторон, и его толщина составляет 4...6% от стального слоя. Для изготовления оболочек крупнокалиберных пуль применяют неплакированную холоднокатаную малоуглеродистую сталь кипящего класса 11кп. Изготовленные из неё оболочки покрывают электролитическим способом тонким слоем латуни или меди. В некоторых случаях (например, при изготовлении оболочек к патрону клб.14,5 мм) стальные оболочки химическим способом покрывают слоем фосфатных солей с последующим лакированием для обеспечения хороших антикоррозионных и антифрикционных свойств.

В зарубежной практике (например, в США) для изготовления оболочек применяют томпак (90% Cu + 10% Zn).

Материал для пульных рубашек и сердечников двухэлементных пуль должен удовлетворять следующим требованиям: высокая плотность, обеспечивающая достаточную массу пули; пла-

стичность и податливость для создания благоприятных условий плотного монтажа; обеспечение врезания пули в нарезы и минимизации износа канала ствола; хорошая обрабатываемость штамповкой; низкая стоимость и недефицитность.

Большинству этих требований удовлетворяет свинец с добавкой 1...2% сурьмы, которая несколько увеличивает его прочность. Плотность свинца марок С1...С4 – 11300...11400 кг/м^3, предел прочности $\sigma_в$=20...22 МПа, температура плавления около 330°С.

Для изготовления стальных сердечников обыкновенных пуль чаще всего применяют малоуглеродистую сталь, пригодную для обработки холодной штамповкой. Предел прочности таких сталей составляет 300...400 МПа, относительное удлинение δ =25...30%, плотность стали 7850...7900 кг/м^3. В последнее время для сердечников обыкновенных пуль применяют стали закаливаемого класса (например, 40Х, 65Г) для повышения пробивной способности пуль при стрельбе по целям, защищённым индивидуальными средствами бронезащиты.

5.3. Оценка убойного действия обыкновенных пуль

Стрелковое оружие предназначено для поражения живой силы и выведения из строя боевой техники противника. Поэтому важное практическое значение имеет возможность сравнительной оценки убойного, проникающего, останавливающего и бронепробивного действий.

Под убойным понимают такое действие пули, которое обеспечивает поражение живых целей вследствие нарушения жизненных функций организма. При стрельбе из пистолетов и револьверов по противнику, находящемуся в непосредственной близости (до 50 м), наряду с убойным большое значение имеет останавливающее действие пули, т.е. её способность при попадании в живую цель мгновенно расстраивать жизненные функции организма, лишая противника способности к дальнейшему сопротивлению. Убойное и останавливающее действия определяются местом попадания пули и объёмом поражения ткани. Не вдаваясь в сложный медико-биологический анализ причин коматозного состояния и летального исхода при огнестрельных ране-

ниях, ограничимся энергетической оценкой эффекта действия пуль по живым целям для проведения инженерных решений.

Под проникающим действием пули понимают её способность пробивать (проникать) вязко-сыпучие преграды при стрельбе на различных дальностях.

Терминологически под пробивным или бронепробивным действием понимают способность пуль пробивать металлические (броневые) преграды.

Убойное действие пули зависит от множества её конструктивных и баллистических характеристик, а также от условий, определяемых значимостью и тяжестью поражения жизненно важных органов, степенью нарушения физиологических и биологических связей. Практикой проведения военных операций установлено, что убойное действие повышается с увеличением калибра пули, её скорости при встрече с целью и увеличением длины головной части. Дополнительными факторами, усиливающими убойный эффект, являются нарушение формы (деформация) пули при попадании в цель и потеря устойчивости её при движении в организме. Попадая в живую ткань, пуля совершает разрушительную работу, поэтому влияние указанных факторов справедливо при достаточно большом запасе кинетической энергии.

Таким образом, для обеспечения убойного действия пуля должна обладать достаточной пробивной работоспособностью, чтобы проникнуть в различные области организма. Двигаясь внутри организма со сравнительно большой скоростью, пуля разрушает ткани, расположенные на пути её движения, и наносит повреждения вблизи расположенным органам. Способность пули наносить повреждение соседним с пулевым каналом областям организма называют боковым действием. Боковое действие пули значительно расширяет поражаемую область, увеличивая вероятность повреждения наиболее важных для жизни органов. При этом усиливается останавливающее действие пули, характеризуемое сокращением времени между попаданием пули и моментом расстройства жизненно важных функций организма.

С учётом вышесказанного убойное действие пули можно характеризовать величиной ее кинетической энергии в момент встречи с целью. Считается, что для вывода человека из строя пулей среднего калибра (5,5...8,0 мм) необходимо, чтобы она об-

ладала кинетической энергией не менее 80 Дж, а для поражения крупного животного – около 200 Дж. Такая величина кинетической энергии вполне обеспечивается при стрельбе из современных образцов стрелкового оружия на сравнительно больших дальностях стрельбы. Естественно, что убойное действие возрастает с увеличением скорости пули, особенно при попадании в области организма, насыщенные жидкостью. В этих условиях появляется так называемое гидродинамическое давление, характеризуемое сравнительно большой областью поражения, подобно действию разрывных (экспансивных) пуль. Мощный гидродинамический эффект особенно проявляется при скоростях пули более 700 м/с и объясняется тем, что скачкообразное возрастание сопротивления жидкой среды приводит к резкому повышению её давления и сильнейшему разрушающему воздействию на организм. Энергетический принцип оценки убойного действия пуль необходим для сравнительного анализа различных вариантов разрабатываемых пуль, используемых при стрельбе на различных дальностях. Обычно об убойном действии пуль более объективно можно судить по результатам исследования ранений личного состава подразделений, принимающего участие в боевых операциях. Характер повреждения мышечных тканей (коммоция, контузия) или разрушение костного скелета и других органов являются наиболее достоверными данными при оценке убойного действия существующих пуль. Однако при проведении проектных работ и разработке новых конструкций патронов эти данные могут лишь частично учитываться при расчёте энергетических показателей убойного действия. Наиболее обобщённой следует считать кинетическую энергию пули при попадании в цель:

$$E = \frac{m_{\text{п}} \cdot V_c^2}{2}. \qquad (5.1)$$

Следует учесть, что разная степень поражения организма пулями различных размеров и формы при одной и той же кинетической энергии E не даёт основания считать её абсолютно достоверной характеристикой убойного действия, хотя и устанавливает уровень поражающей способности пули.

Моделирование поражающего действия пуль при стрельбе по мишеням из материалов, имитирующих мышечную ткань, на-

пример мягкой глины, мыла и т.п., даёт возможность измерить объём очага разрушения, длину и диаметр канала, позволяет установить количественную зависимость этих показателей от параметров пули и её скорости и также использовать эту зависимость для сравнительной оценки убойного действия пуль на этапе проектирования.

Для ориентировочной оценки поражающего действия в некоторых работах принята характеристика убойного действия ΔE, являющаяся потерей кинетической энергии или, по существу, частью работы, совершаемой пулей при попадании в мышечную ткань. Эта характеристика имеет аналитическую зависимость от параметров пули, её скорости встречи с целью, механических характеристик мышечной ткани и наиболее полно учитывает влияние этих факторов на поражающий эффект:

$$\Delta E = \lambda a \frac{\pi d^2}{4} \cdot S\left(1 + bV_c^2\right), \qquad (5.2)$$

где $a = 43{,}3 \cdot 10^5$ Н/м^2 – характеристика прочности среды (мышечной ткани) при условно статическом проникании в неё пули; $b = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ с^2/м^2 – характеристика, определяющая влияние плотности и вязкости пробиваемой среды (мышечной ткани) на сопротивление прониканию пули в динамических условиях; λ – специальный коэффициент формы, характеризующий относительное влияние формы головной части на сопротивление прониканию в преграду. Если принять для лёгкой винтовочной 7,62-мм пули λ=1, то для других пуль, зная калибр d и длину головной части h_1, его можно определить по эмпирической зависимости

$$\lambda = 1{,}91 - 0{,}35\frac{h_1}{d}; \qquad (5.3)$$

S – толщина мышечной ткани; для оценки убойного действия условно принято считать S=0,1 м.

Норма потерь кинетической энергии по зависимости (5.2) для реализации минимально необходимого убойного действия точно не установлена, но представление о ней можно получить косвенным путём. Для винтовочных пуль считается, что минимальная, достаточная для убойного действия кинетическая энергия составляет порядка 80...100 Дж. Этой энергии соответствует скорость

7,62-мм лёгкой винтовочной пули 130...140 м/с, а этой скорости соответствует потеря кинетической энергии около 30 Дж. Её и принято считать минимально необходимой характеристикой убойного действия пули по живым целям, не имеющим защитных средств (каска, бронежилет и др.).

Если калибр и форма пули известны, то, пользуясь выражением (5.2), можно подсчитать характеристику убойного действия ΔE для различных значений скорости. Применительно к существующим образцам оружия можно графически изобразить зависимость характеристики убойного действия от дальности стрельбы, используя основное баллистическое уравнение (4.13) для установления связи скорости пули на заданной дальности полёта (рис. 5.4). Такая схема расчёта позволяет рассчитать предельную убойную дальность для различных стрелковых систем:

$$V_{c\min} = \sqrt{\left(\frac{30 \cdot 4}{\pi d^2 \cdot \lambda \cdot a \cdot S} - 1\right)\frac{1}{b}}. \qquad (5.4)$$

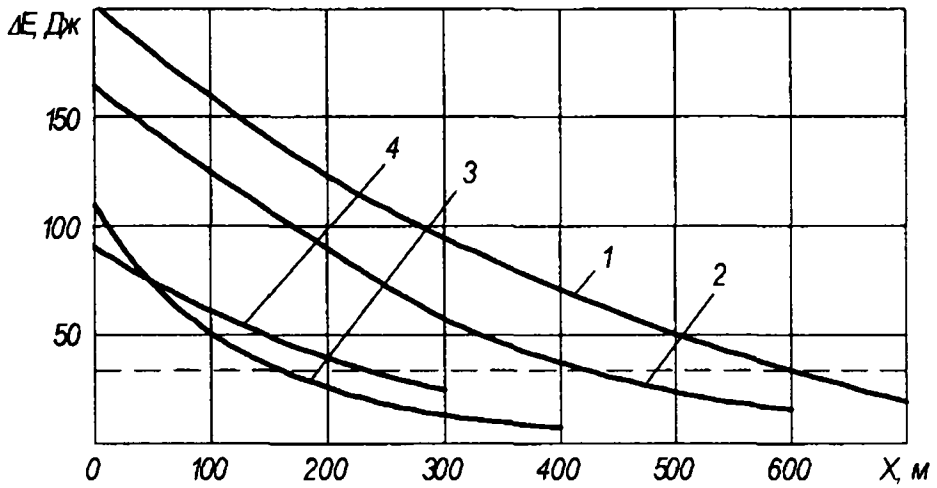


Рис. 5.4. Изменение характеристик убойного действия пуль различных калибров: кривая *1* – 7,62-мм карабина обр. 1944 г.; кривая *2* – 7,62-мм автомата Калашникова; кривая *3* – 7,62-мм пистолета-пулемёта (ППШ); кривая *4* – 9-мм пистолета АПС

В практике проектных расчётов используют и другие показатели убойного действия, например мощность поражения N – потерю кинетической энергии, отнесённую ко времени действия пули по цели; импульс поражения I – изменение количества движения пули. Указанные показатели взаимосвязаны с потерей кинетической энергии:

$$N = \frac{V_{ср}}{S}\Delta E, \qquad (5.5)$$

$$I = \frac{\Delta E}{V_{ср}}, \qquad (5.6)$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость пули при движении в мышечной ткани; S – протяжённость участка мышечной ткани в направлении движения пули.

Затруднение в расчётах этих характеристик вызвано неопределённостью значения $V_{ср}$.

Пример 5.1. Определить кинетическую энергию E, характеристику убойного действия ΔE на дистанции 300 м и предельную убойную дальность $X_{пр}$ при стрельбе из автомата Калашникова (АКМ), если $m_п$=7,9 г, h_1=16,5 мм, V_0=710 м/с.

Решение. Для определения скорости пули V_c на дальности X=300 м необходимо воспользоваться основным баллистическим уравнением (4.13):

$$CX = D(V_c) - D(V_0),$$

$$D(V_c) = C \cdot X + D(V_0),$$

где $C = \dfrac{i \cdot d^2}{q_п} \cdot 10^3$.

По зависимости (4.18) для сверхзвуковой скорости определяем коэффициент формы i:

$$i = 1{,}1 - 0{,}343 \cdot \frac{16{,}5}{7{,}62} + 0{,}042\left(\frac{16{,}5}{7{,}62}\right)^2 = 0{,}55 \text{ (по Сиаччи)},$$

$$i = \frac{0{,}55}{0{,}50} = 1{,}1 \text{ (по закону 1943 г.)},$$

$$C = \frac{1{,}1 \cdot (7{,}62)^2 \cdot 10^{-6}}{7{,}9 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^3 = 8{,}1.$$

По прил. 1 определяем $D(V_0)$=8100:

$$D(V_c) = 8{,}1 \cdot 300 + 8100 = 10530$$

$$V_c = 480 \text{ м/с}$$

Кинетическая энергия пули на дистанции 300 м

$$E = \frac{7{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 480^2}{2} = 910 \text{ Дж}.$$

Характеристика убойного действия на дистанции 300 м определяется выражением (5.2):

$$\Delta E = \lambda \cdot a \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 0{,}1\left(1 + bV_c^2\right);$$

$$\lambda = 1{,}91 - 0{,}35\frac{16{,}5}{7{,}62} = 1{,}15;$$

$$a = 43{,}3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2, \; b = 1{,}8 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2;$$

$$\Delta E = 1{,}15 \cdot 43{,}3 \cdot 10^5 \frac{3{,}14 \cdot (7{,}62)^2 \cdot 10^{-6}}{4} \cdot 0{,}1\left(1 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot (480)^2\right) = 116{,}9 \text{ Дж}.$$

Предельная убойная дальность определяется той минимальной скоростью пули у цели, при которой ΔE=30 Дж:

$$V_{c\min} = \sqrt{\left(\frac{30 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6} \cdot 43{,}3 \cdot 10^5 \cdot 0{,}1} - 1\right)\frac{1}{1{,}8 \cdot 10^{-5}}} = 170 \text{ м/с}.$$

По основному баллистическому уравнению (4.13) предельная убойная дальность составит:

$$X_{\text{пр}} = \frac{21200 - 8100}{8{,}1} = 1617 \text{ м}.$$

5.4. Оценка пробивного (проникающего) действия обыкновенных пуль

Пробивное действие пули, характеризуемое её способностью проникать в преграду, зависит от свойств материала преграды, скорости, калибра, массы и формы пули, а также от ее способности сохранять форму и устойчивость при движении в пробиваемой среде. Традиционно пробивная способность пуль определялась стрельбой по пакету сухих сосновых досок толщиной 25 см, расположенных друг за другом с интервалом 25 мм. Например, при стрельбе из 7,62-мм винтовки с расстояния 100 м пуля пробивает 36 досок, а с расстояния 1000 м – до 8 досок.

Используя энергетический принцип, по которому пуля, проникая в преграду, затрачивает определённую работу, теряя при

этом часть своей кинетической энергии, можно рассчитать характеристику пробивного действия пули по заданной преграде. Следует подчеркнуть, что на проникающее действие пули влияют те же факторы, что и на убойное, однако это влияние качественно иное. Например, уменьшение сопротивления среды снижает убойный эффект, но повышает пробивное действие. То же можно сказать о влиянии калибра, возможной деформации пули и нарушении её устойчивости при движении в преграде.

Увеличение скорости пули приводит к увеличению пробивного действия до определённого предела, который зависит от конструктивных характеристик пули и механических свойств пробиваемой преграды. Как только скорость встречи (удара) достигает такой величины, при которой начинается деформация или разрушение пули, пробивное действие резко падает (рис. 5.5).

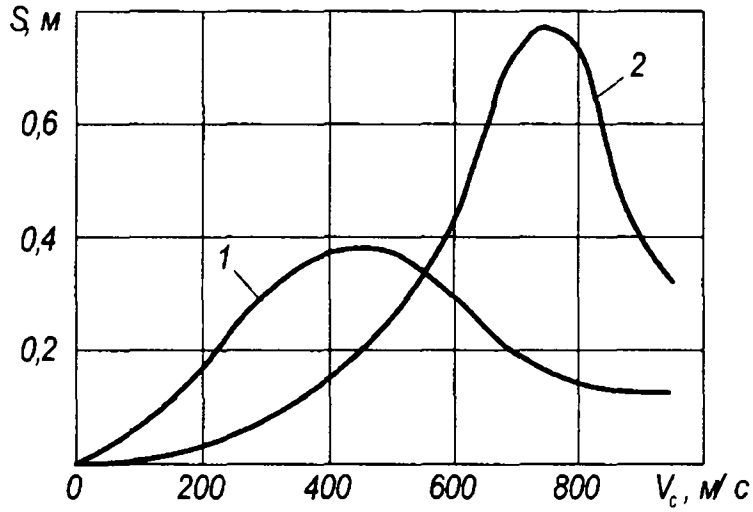


Рис. 5.5. Характеристика пробивного действия 7.62-мм лёгкой винтовочной пули при стрельбе по песку (кривая *1*) и дереву (кривая *2*)

Состояние и механические свойства пробиваемых преград неоднозначно предопределяют влияние формы головной части пули на глубину проникания. При стрельбе по жидким, невязким, сыпучим и твёрдым преградам, не вызывающим деформации и искажения формы пули, пробивное действие её увеличивается с увеличением длины головной части. При стрельбе же по вязким и упругоподатливым преградам небольшой плотности (сухое дерево) пробивное действие уменьшается с увеличением поверхности

контакта пули с преградой из-за значительной потери части энергии на преодоление сил трения.

Если в качестве характеристики пробивного действия пули принять глубину её проникания в преграду, то с учётом изложенного характера влияния различных факторов эта величина может быть рассчитана по формуле

$$S = \frac{2 \cdot m_{\text{п}}}{\pi \cdot d^2 \cdot \lambda \cdot a \cdot b} \ln \frac{1 + bV_c^2}{1 + bV_s^2}, \qquad (5.7)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса пули; λ – геометрический коэффициент формы пули, определяемый по зависимости (5.3); a, b – характеристики прочности и вязкости материала преграды (табл. 5.1); $V_{\text{с}}$ – скорость пули перед преградой; V_s – скорость пули за преградой.

Таблица 5.1

Значение характеристик прочности *a* и вязкости *b* для различных материалов преград

Пробиваемая среда	a, 10^5 Н/м^2	b, 10^{-5} с^2/м^2
Свеженасыпанная земля	46,0	6,0
Песок	43,5	2,0
Глина	104,5	3,5
Дерево (сосна, ель)	160,0	1,0
Кирпичная кладка	316,0	1,5

Если в выражении (5.7) принять $V_{\text{с}}$=0, то получим формулу для определения максимальной глубины проникания пули в преграду:

$$S = \frac{2m_{\text{п}}}{\pi \cdot d^2 \cdot \lambda \cdot a \cdot b} \ln\left(1 + bV_c^2\right). \qquad (5.8)$$

Зависимостями (5.7) и (5.8) можно пользоваться и в тех случаях, когда оболочка пули разрушается при пробитии преграды, но сердечник из стали или другого материала остаётся прочным. В этом случае вместо массы, калибра и коэффициента формы пули ($m_{\text{п}}$, d, λ) в расчётах надо брать массу $m_{\text{с}}$, диаметр $d_{\text{с}}$ и коэффициент формы $\lambda_{\text{с}}$ сердечника. Так необходимо поступать, например, при оценке пробития кирпичной кладки, особенно в том случае, когда требуется определить возможность поражения противника, находящегося за этой преградой. По основному баллистическому уравнению (4.13) устанавливают скорость пули у преграды $V_{\text{с}}$, а

скорость за преградой приравнивают $V_s = V_{c\,min}$. Скорость $V_{c\,min}$ рассчитывают по формуле (5.4). На рис 5.5 показана зависимость глубины проникания 7,62-мм винтовочной пули в различные преграды (песок, дерево), рассчитанная по формуле (5.8) с использованием характеристик прочности a и вязкости b материалов, приведённых в табл. 5.1.

Пример 5.2. Сохранит ли пуля клб.7,62 мм убойную способность за преградой при стрельбе с расстояния 100 м из автомата Калашникова (АКМ) по противнику, находящемуся за деревянным укрытием (S=0,15 м, V_0=710 м/с, h_1=16,5 мм, $m_п$=7,9 г)?

Решение. Используя результаты расчёта (см. пример 5.1), определяем скорость пули на дистанции 100 м:

$$D(V_c)=8{,}1\cdot 100+8100=8910,$$

$$V_c=628 \text{ м/с}.$$

Определяем скорость пули за преградой V_s после её пробития. Для этого преобразуем формулу (5.7):

$$V_S=\sqrt{\left(\left(1+bV_c^2\right)\exp\left(-\frac{\pi d^2\cdot\lambda\cdot a\cdot b\cdot S}{2m_п}\right)-1\right)\frac{1}{b}}.$$

$$V_S=\sqrt{\left(\left(1+1\cdot 10^{-5}\cdot 628^2\right)\exp\left(-\frac{3{,}14\cdot 7{,}62^2\cdot 10^{-6}\cdot 1{,}15\cdot 160\cdot 10^5\cdot 1\cdot 10^{-5}\cdot 0{,}15}{2\cdot 7{,}9\cdot 10^{-3}}\right)-1\right)\frac{1}{1\cdot 10^{-5}}}$$

$=316$ м/с.

$$\Delta E=1{,}15\cdot 43{,}3\cdot 10^5\,\frac{3{,}14\cdot(7{,}62)^2\cdot 10^{-6}}{4}\cdot 0{,}1\left(1+1{,}8\cdot 10^{-5}\cdot(316)^2\right)=$$

$= 63{,}4$ Дж.

Пуля сохраняет убойную способность при пробитии деревянного укрытия толщиной 0,15 м. Решение задачи можно упростить, сравнив скорость за преградой V_s с той минимальной скоростью $V_{c\,min}$, которая определяет характеристику убойного действия ΔE=30 Дж (см. пример 5.1): $V_s > V_{c\,min}$.

5.5. Конструкция бронебойных пуль. Оценка бронепробивного действия

Для пробития металлической брони применяют бронебойные пули, которые являются разновидностью специальных. Особен-

ности бронепробивного действия определяются специфическими свойствами брони, а также конструкцией, массой и скоростью пули, формой, массой и твёрдостью бронебойного сердечника.

По конструкции металлическая броня делится на гомогенную (однородную) и гетерогенную (неоднородную). Гетерогенная броня имеет наружный слой высокой прочности, а тыльные слои – вязкие, пластичные, исключающие образование осколков или так называемого тыльного скола, поражающего запреградное пространство. Высокая твёрдость наружного слоя может быть получена методами поверхностной закалки или же механическим соединением высокотвёрдой стальной полосы с пластичным материалом. Такая броня обладает более высокой пулестойкостью, но из-за сложности изготовления и большой стоимости применяется редко. Для защиты от пуль и малокалиберных снарядов чаще используется гомогенная броня различной твёрдости (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Основные характеристики гомогенной брони

Тип брони	$\sigma_в$, МПа	Твёрдость (НВ)* $d_{отп}$, мм при 30/10/30	Ударная вязкость, Дж/м^2·10^5
Высокой твёрдости	≤1500	2,9...3,3	3,5...7,0
Средней твёрдости	≤950	3,4...3,7	8,0...13,0
Низкой твёрдости	≤700	3,9...4,2	≥14,0

*Твёрдость по шкале Бриннеля при нагрузке 30 кН. диаметр шарика 10 мм, выдержка под нагрузкой 30 с.

Применяемые для стрельбы по бронированным целям бронебойные пули имеют специальные бронебойные сердечники, обладающие высокой прочностью и твёрдостью и способные пробивать такие прочные преграды, как броня, бетон и др., чем и объясняется название этих пуль. Конструктивно бронебойные пули можно подразделить на двухэлементные и трёхэлементные, с оболочечным и полуоболочечным оформлением (рис. 5.6). Нередко при изготовлении двухэлементных (двухслойных) бронебойных пуль для оболочек используют пластичные материалы: медь, томпак, мельхиор. Такая мера необходима для обеспечения надёжного врезания и ведения пули по нарезам канала ствола и поддержания его высокой живучести. Однако указанные мате-

риалы дороги, и поэтому двухэлементные пули не получили широкого применения. Кроме того, отсутствие податливой рубашки под оболочкой повышает износ канала ствола.

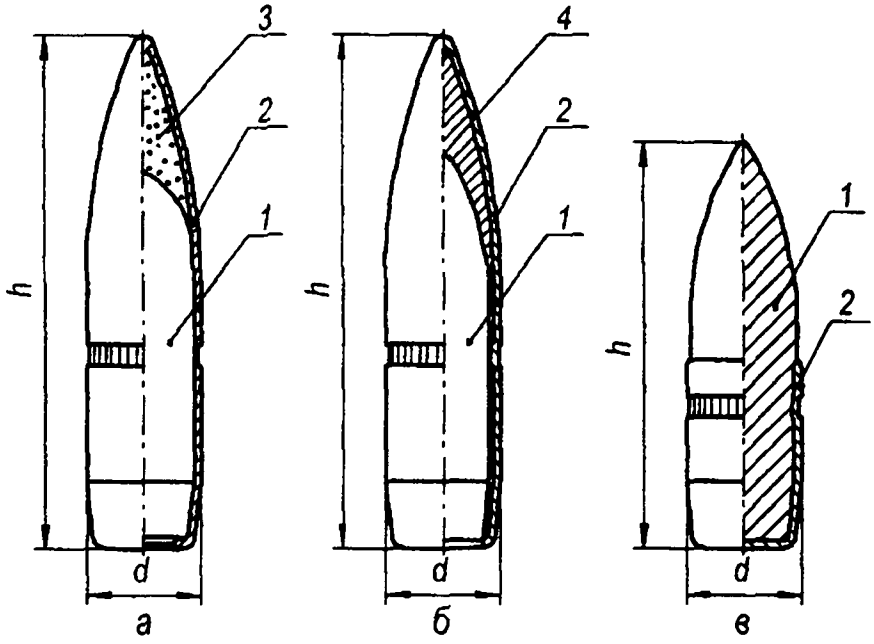


Рис. 5.6. Бронебойные пули: *а*, *б* – оболочечные; *в* – полуоболочечные; *1* – сердечник; *2* – оболочка; 3 – зажигательный состав; 4 – свинцовая рубашка

В конструкции трёхэлементных пуль между оболочкой и сердечником предусмотрена пластичная рубашка из свинца или другого податливого материала, которая облегчает врезание пули в нарезы и обеспечивает высокую живучесть канала ствола. Поэтому к материалу оболочки предъявляют менее жёсткие требования и в практике отечественного производства для оболочек бронебойных пуль применяют те же материалы, что и для обыкновенных, – биметалл-3 и сталь 11КП.

Для изготовления бронебойных сердечников используют различные сорта высококачественной инструментальной углеродистой и легированной стали У10А, У12А, 12ХА, 70С2ХА, а также металлокерамические твёрдые сплавы на основе карбида вольфрама типа ВК-8, ВК-15. Химический состав материалов для сердечников приведён в прил. 3. К этим материалам предъявляют требования высокой твёрдости в готовом изделии, достаточной вязкости, большой плотности, технологичности, сравнительно невысокой стоимости и недефицитности. Стальные сердечники

изготавливают из прутковых заготовок механической обработкой резанием с последующей закалкой до твёрдости HRC 64...67 и низкотемпературным отпуском для снятия остаточных напряжений и повышения прочности. Наилучшие условия для сохранения прочности сердечника при пробитии брони создаются при высокой твёрдости головной части с постепенным снижением её по длине в направлении к хвостовой части сердечника.

Металлокерамические сердечники изготовляют из порошкообразной смеси карбида вольфрама (86...87%) и кобальта (4...6%) или никеля (3...6%). Порошок кобальта (никеля) при высокой температуре плавится и сваривает ("спекает") зёрна карбида вольфрама, образуя плотный и высокопрочный сплав. Сердечники из металлокерамических сплавов обладают очень высокой твёрдостью (HRC 87...90) и большой плотностью (14500...14700 кг/м^3), обеспечивая эффективное пробитие брони. Основным ограничением к широкому применению сердечников из металлокерамики является их высокая стоимость.

Конструктивно бронебойные пули простого действия выполняются с учётом определённых весовых и размерных соотношений. Относительный вес сердечника принят для существующих образцов $q_с/q_п$=0,55...0,60, относительный диаметр сердечника $d_с/d_п$=0,75...0,85. Бóльшие значения этих соотношений соответствуют крупным стрелковым калибрам. Бронепробивное действие наиболее эффективно в сочетании с зажигательным или трассирующим действиями комбинированных пуль. Поэтому, например, для бронебойно-зажигательных пуль со стальным сердечником $q_с/q_п$=0,60...0,65, с металлокерамическим $q_с/q_п$=0,75...0,85 при одинаковом, как и для бронебойных пуль простого действия, соотношении диаметров сердечника и пули.

Размеры и конфигурация головной части бронебойных сердечников играют существенную роль при пробитии бронезащиты. Обычно головная часть сердечника образуется радиусом $R_с$=2,0...3,0$d_с$. Иногда вершину сердечника заостряют в виде конуса или, наоборот, притупляют с образованием боковой грани (рис. 5.7). Однако практикой испытаний боеприпасов установлено, что наличие резких переходов, граней и поднутрений на сердечниках, которые испытывают огромную ударную нагрузку, нередко приводит к их разрушению при встрече с преградой.

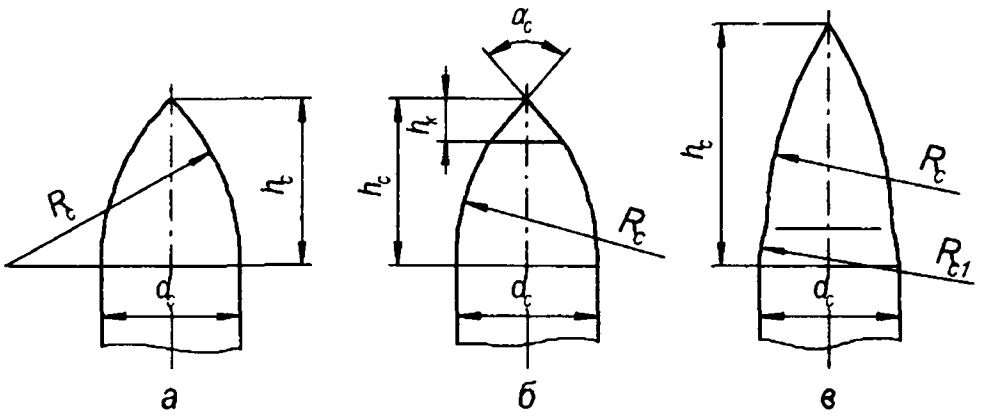


Рис. 5.7. Форма головной части бронебойных сердечников: *а* – радиусный профиль; *б* – комбинированный профиль с коническим заострением; *в* – двухрадиусный профиль

Длина сердечника под ведущей частью пули h=2,0...2,3d_c и имеет небольшую конусность с сужением к хвостовой части, что облегчает бронепробитие.

На основании анализа результатов поражения гомогенных бронепреград можно выделить три разновидности пробития жёстким сердечником:

– прокол относительно тонкой, пластичной преграды невысокой твёрдости (рис. 5.8, *а*);

– выбивание "пробки" металла брони, имеющей среднюю твёрдость (рис. 5.8, *б*);

– пробитие брони высокой твёрдости с образованием тыльного скола (рис. 5.8, *в*).

Разрушение мягкой, пластичной (алюминий, низкоуглеродистая сталь и др.) брони проколом сопровождается значительной пластической деформацией с образованием на наружной поверхности брони кратера, значительного прогиба и разрыва тыльной поверхности. Выбиванию пробки (противопульная броня средней твёрдости) также предшествует значительная пластическая деформация с разрушением материала в кольцевой зоне, где реализуется предельная деформация наподобие процесса вырубки или пробивки. При взаимодействии бронебойного сердечника с бронёй высокой прочности, у которой запас пластичности минимален, происходит частичное внедрение сердечника и образование тыльного скола, сопровождающегося фрагментацией части брони и образования "снопа" осколков.

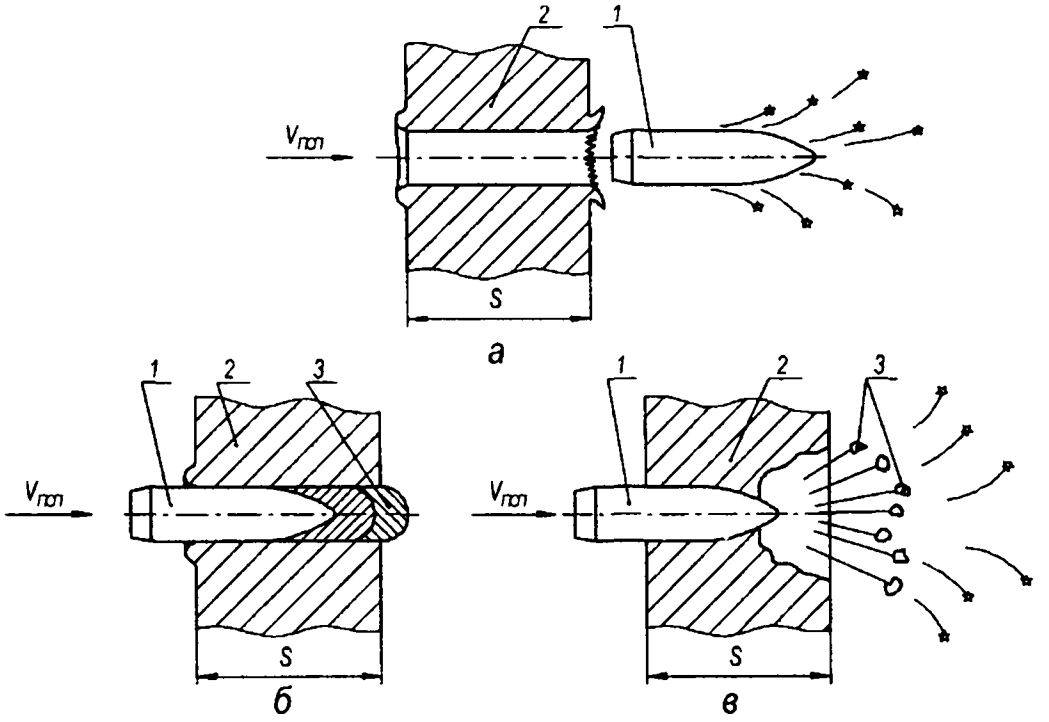


Рис. 5.8. Схема пробития брони: *а* – прокол; *б* – выбивание пробки; *в* – с образованием тыльного скола: *1*– пуля; *2* – броня; *3* – осколки

Для сверхтвёрдых керамических преград возможна как тыльная, так и наружная фрагментация материала брони. В целом механизм пробития различных бронезащит многообразен, зависит от конструктивных и механических характеристик как преград, так и сердечников, скорости и конструкции пуль и других факторов. Высокоскоростное взаимодействие сердечника и брони преобразует часть кинетической энергии в волновое движение деформируемого объекта, что приводит к специфическому поведению материала при наложении волн и возникновении резонансного импульса.

Для оценки бронепробития в практике баллистических расчётов используют понятия критической скорости сердечника, при которой происходит сквозное прохождение его через преграду. Так, под пределом сквозного пробития $V_{псп}$ понимают ту минимальную скорость встречи пули с преградой толщиной S, при которой происходит её сквозное пробитие. Пределом тыльной прочности называют то максимальное значение скорости встречи пули с преградой толщиной S, при которой полного пробития ещё не происходит.

Оценивая возможности бронебойного действия пуль, необходимо иметь в виду, что при ударе о металлическую преграду оболочка пули разрушается и только твёрдый сердечник пробивает броню. Поэтому наибольший эффект бронепробивного действия достигается сердечниками из металлокерамических сплавов, обладающих высокой удельной плотностью. Повышение активной массы сердечника возможно за счёт расположения за сердечником свинцового балласта или применения полуоболочечных пуль с выступающим сердечником (см. рис 5.6).

Ориентировочно предел сквозного пробития $V_{\text{псп}}$ может быть рассчитан по известной эмпирической формуле Жакоб де Мара:

$$V_{\text{псп}} = K \frac{d_{\text{срд}}^{0,75} \cdot S^{0,70}}{q_{\text{срд}}^{0,5} \cdot \cos\alpha}, \qquad (5.9)$$

где K – коэффициент, характеризующий уровень прочности брони: K=1600...1800 – для брони низкой твёрдости; K=1800...2000 – для брони средней твёрдости; K=2000...2200 – для брони высокой твёрдости. $d_{\text{срд}}$ – диаметр сердечника, дм; S – толщина брони, дм; $q_{\text{срд}}$ – вес сердечника, кг; α – угол встречи (угол между нормалью к поверхности брони и вектором скорости пули).

Формула (5.9) весьма приближённо учитывает механические свойства брони и конструкцию сердечника, а расчётные значения $V_{\text{псп}}$ завышены по сравнению с результатами испытаний стрельбой.

Для расчёта предела сквозного пробития противопульной брони может быть использована формула К.А. Березина:

$$V_{\text{псп}} = 175\sqrt{0.1K_{\text{ф}} \cdot \sigma_{0.2} \cdot (1+\varphi)} \cdot \frac{d_{\text{срд}} \cdot S^{0,5}}{q_{\text{срд}}^{0,5} \cdot \cos\alpha}, \qquad (5.10)$$

где $K_{\text{ф}} = 0.47\left(\frac{i}{1+\varphi} + \frac{S}{d_{\text{срд}}}\right)$, $\varphi = m_{\text{пр}} / m_{\text{срд}}$, i – коэффициент формы сердечника (4.18); $m_{\text{пр}}$ – масса выбиваемой сердечником из брони пробки; $\sigma_{0.2}$ – предел текучести материала брони, МПа; $d_{\text{срд}}$, S – диаметр сердечника и толщина брони, дм; $q_{\text{срд}}$ – вес сердечника, кг.

Нередко в процессе расчётов необходимо оценить скорость

сердечника после пробития противопульной брони и определить, например, характеристику убойного действия. С этой целью может быть использована зависимость (5.7):

$$S = \frac{2m_{\text{срд}}}{\pi \cdot d_{\text{срд}}^2 \cdot \lambda_{\text{срд}} \cdot a \cdot b} \ln \frac{1 + bV_c^2}{1 + bV_s^2}, \qquad (5.7)^*$$

где для противопульной относительно тонкой стальной брони

$$a = 3620 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2; \quad b = 1{,}74 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2.$$

Расчёт по приведённым зависимостям позволяет сопоставить различные варианты проектных решений и выбрать конструкцию, оптимальную по эффективности бронебойного действия.

Окончательно наилучший вариант разрабатываемых патронов с бронебойными пулями определяется по результатам серии полигонных испытаний стрельбой по бронезащитам. Для отличия от других видов патронов вершина бронебойных пуль окрашивается в чёрный цвет.

Пример 5.3. Оценить возможность пробития брони средней твёрдости толщиной S=15 мм при стрельбе из пулемёта ДШК d=12,7 мм пулями Б-32 с расстояния 300 м, под углом встречи α=0°. Масса пули $m_{\text{п}}$=48,5 г, высота оживальной части пули h=33,3 мм. Масса сердечника $m_{\text{с}}$=30 г, диаметр сердечника $d_{\text{с}}$=10,9 мм, начальная скорость V_0=820 м/с.

Решение. Для определения скорости пули на дистанции 300 м необходимо определить коэффициент формы i и баллистический коэффициент:

$$i = 1{,}1 - 0{,}343 \cdot \frac{33{,}3}{12{,}7} + 0{,}042\left(\frac{33{,}3}{12{,}7}\right)^2 = 0{,}49 \text{ (по Сиаччи)},$$

$$i = \frac{0{,}49}{0{,}50} = 0{,}98 \text{ (по закону 1943 г.)},$$

$$C = \frac{0{,}98 \cdot 12.7^2 \cdot 10^{-6}}{48{,}5 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^3 = 3{,}26.$$

По основному баллистическому уравнению (4.13) с использованием таблиц стрельбы (см. прил.1) определим значение скорости V_c на дистанции X=300 м:

$$D(V_c) = 3{,}26 \cdot 300 + 7070 = 8050,$$

$$V_c = 724 \text{ м/с}.$$

По формуле Жакоб де Мара (5.9) определяем скорость пули $V_{псп}$, необходимую для пробития брони средней твёрдости (K=2000):

$$V_{псп} = 2000\frac{(0{,}109)^{0{,}75}\cdot(0{,}15)^{0{,}70}}{(0{,}030)^{0{,}5}\cdot 1} = 527 \text{ м/с}.$$

Скорость пули у цели V_c=724 м/с > $V_{псп}$, следовательно, броня будет пробита.

5.6. Трассирующие пули. Определение дальности трассирования

Трассирующими пулями снаряжают патроны для стрельбы из всех видов стрелкового оружия (рис. 5.9).

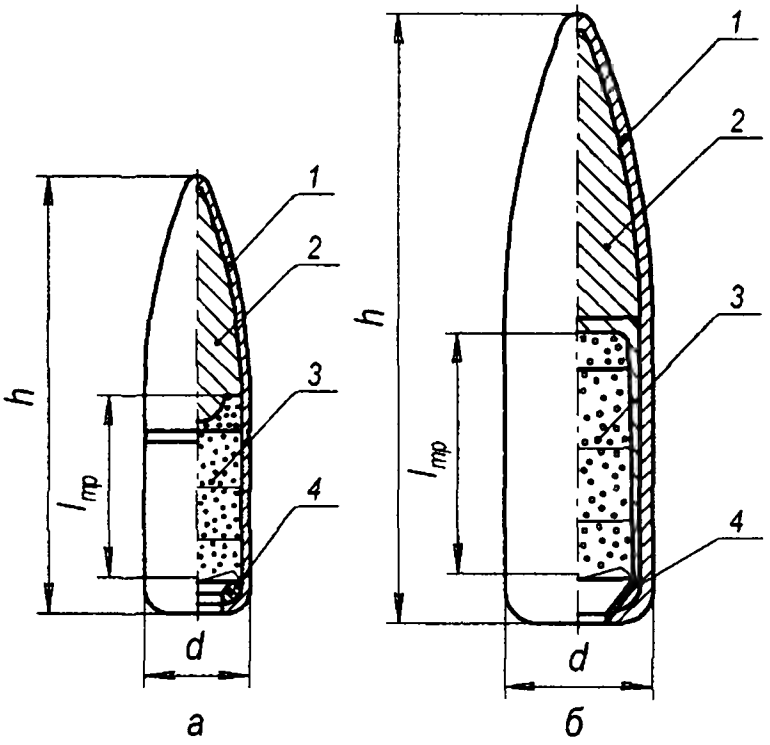


Рис. 5.9. Трассирующие пули: *а* – клб. 5,45 мм (7Т3); *б* – клб. 7,62 мм: *1* – оболочка; *2* – сердечник; *3* – трассер; *4* – колечко

Кроме обыкновенного действия (убойного, останавливающего, проникающего) они предназначены для высвечивания траек-

тории полёта пули (трассы), корректирования огня, целеуказания, сигнализации и способны поджигать легко воспламеняющиеся объекты. Необходимая яркость трассы и дальность трассирования обеспечиваются конструкцией трассера, свойствами и химическим составом компонентов горения. Для создания высокой плотности и достаточной прочности, обеспечения равномерности горения параллельными слоями трассирующий состав запрессовывается в несколько приёмов при действии высокого давления на инструмент (p = 800...900 МПа), превышающего давление газов в канале ствола. При недостаточном усилии запрессовки возможны разрушение пиросостава при выстреле, возгорание всего объёма и разрыв пули на траектории. Воспламенение трассирующего состава происходит от пороховых газов внутри канала ствола. Надёжность воспламенения обеспечивают увеличением поверхности возгорания за счёт рельефной запрессовки (звёздочкой) нижней поверхности пиросостава, а повышение чувствительности – добавлением в последнюю дозу состава легковоспламеняющихся веществ (например, дымного пороха).

На правильность полёта трассирующей пули влияют форма и соосность выходного отверстия, расположенного в ее хвостовой части. Концентричность расположения этого отверстия трудно получить путём обжима и загибки стенки оболочки, поэтому прибегают к установке специального колечка, которое удерживается загнутой кромкой оболочки. Такое колечко не требуется, если трассирующий состав предварительно размещён в специальном стакане (корпусе трассера).

Иногда, во избежание негативного воздействия на трассирующий состав внешних атмосферных факторов, особенно при длительном хранении патронов, выходное отверстие покрывают лаком или фольгой. Такой же приём используют для замедления воспламенения трассирующего состава и начала горения на определённой дистанции (50...120 м) от стрелка с целью его маскировки (вынос трассы). Вынос начала трассирования снижает вероятность обнаружения и поражения стрелка, уменьшает засветку ночных прицелов в ночное время. Однако для оружия малых автоматных калибров вынос трассы на такое расстояние не всегда оправдан, так как наиболее эффективная дистанция стрельбы из него составляет 200...300 м. Сердечник у трасси-

рующих пуль среднего калибра обычно свинцовый или стальной. У крупного калибра целесообразно, для повышения бронепробиваемости, приблизить трассирующие пули к бронебойным, применяя сердечник из высокоуглеродистой стали.

Особенностью функционирования трассирующих пуль является изменение массы и положения центра масс пули по мере выгорания пиросостава. Продольное и поперечное смещения центра масс делают пули динамически не уравновешенными и вызывают увеличение рассеивания в 1,5...2,0 раза по сравнению с обыкновенными пулями. Во избежание этого рекомендуется по возможности уменьшать поперечные размеры и массу трассирующего состава, применять пиросоставы с небольшой скоростью и слабым пламенем горения, что не уменьшает дальность трассирования и улучшает маскировку оружия.

При проведении монтажных операций на поверхности трассирующих пуль не делают поперечных кольцевых канавок. Такая операция, проводимая для повышения плотности монтажа и обозначения места закатки гильзы, может привести к разрушению трассирующего состава. Поэтому крепление трассирующей пули в дульце гильзы обеспечивается соответствующей посадкой с натягом.

К трассирующим составам предъявляют следующие требования:

- высокая чувствительность к возгоранию от пороховых газов и воспламенительных составов;
- большая сила света при небольшой скорости горения;
- хорошая обрабатываемость прессовкой и достаточная прочность;
- невысокая плотность и образование в процессе горения большого количества шлаков;
- несклонность к детонации и взрыву;
- дешевизна и недефицитность компонентов состава.

Трассирующие составы представляют собой механические смеси горючего вещества и окислителя с добавкой цементаторов, являющихся одновременно флегматизаторами, регламентирующими скорость горения. В качестве горючих веществ применяют алюминий, магний и сплавы этих металлов, которые обладают

высокой химической активностью при взаимодействии с кислородом, выделяя при горении большое количество тепла. Окислители – вещества, богатые кислородом и сравнительно легко отдающие его при высокой температуре. В отечественном производстве применяют перекиси и окиси бария, кальция, стронция; хлораты и перхлораты бария, калия, натрия; нитраты бария, калия, натрия, стронция. Цементатором (флегматизатором) служат искусственные и естественные смолы: идитол, шеллак, канифоль и другие, обладающие хорошими горючими свойствами. Иногда в качестве флегматизаторов специально применяют касторовое масло, парафин, вазелин, понижающие скорость горения трассирующего состава и чувствительность к механическим воздействиям.

В зависимости от рецептуры трассирующего состава получают различную окраску пламени: соли бария придают светло-зелёную окраску, соли стронция – красную, натрия – жёлтую. Предпочтение отдаётся красной окраске, обеспечивающей хорошую видимость трассы ночью и в яркую солнечную погоду днём.

К воспламенительным составам предъявляют следующие требования:

– хорошая воспламеняемость от пороховых газов при движении пули по каналу ствола;

– высокая температура горения, необходимая для надёжного воспламенения трассирующего состава;

– высокая механическая прочность;

– негигроскопичность;

– отсутствие вредных продуктов горения, влияющих на состояние и живучесть канала ствола;

– минимальное свечение при горении в целях лучшей маскировки оружия;

– невысокая скорость горения;

– дешевизна и недефицитность компонентов.

В табл. 5.3 приведена рецептура некоторых трассирующих и воспламенительных составов.

Рецептура воспламенительного состава, обеспечивающего вынос трассы на 50...120 м: свинцовый сурик – 54,5%; оксид железа – 6,0%; ферросилиций – 27,0%; бор аморфный – 6,0%; фторопласт – 4,5%; магний – 2,0%.

Таблица 5.3

Рецептура трассирующих и воспламенительных составов, %

Компоненты	Варианты трассирующих составов						Варианты воспламенительных составов			
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Азотнокислый барий	63	–	42	–	–	–	48	48	32,5	26
Азотнокислый стронций	–	60	–	61.5	48	54	–	–	–	–
Углекислый стронций	–	–	–	–	–	5	–	–	–	–
Перекись бария	–	–	30	–	–	–	30	–	45	50
Свинцовый сурик	–	–	–	–	–	–	–	28	–	–
Алюминий	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–
Магний	15	23	22	26	21	21	13	15	15,5	17
Сплав магний-алюминий	15	6	–	–	9	–	–	–	–	–
Идитол	7	–	6	9,5	8	–	9	9	7	7
Поливинилхлорид	–	–	–	–	5	9	–	–	–	–
Идитол и канифоль	–	–	–	–	–	11	–	–	–	–
Уротропин, фенол-формальдегид	–	–	–	–	9	–	–	–	–	–
Графит*	–	11	–	–	0,5	–	–	–	–	–

* Содержание графита свыше 100%

Дальность трассирования определяют по полётному времени $\tau_{тр}$, которое устанавливают с учётом равномерной скорости горения трассирующего состава и его размеров:

$$\tau_{тр} = \frac{l_{тр}}{u_{тр}}, \qquad (5.11)$$

где $l_{тр}$ – длина трассирующего состава (см. рис. 5.9); $u_{тр}$=3…4 мм/с – скорость его горения.

Затем, используя основное баллистическое уравнение

$$\tau_{тр} \cdot C = T(V_c) - T(V_0), \qquad (5.12)$$

где $T(V_c)$, $T(V_0)$ – полётные функции скорости (прил.1), определяют скорость V_c на предельной дальности трассирования:

$$T(V_c) = C\tau_{тр} + T(V_0).$$

Здесь V_c – табличное значение скорости (прил.1).

Далее для найденной скорости V_c и начальной скорости V_0 устанавливают функции $D(V_c)$ и $D(V_0)$ и определяют предельную дальность трассирования:

$$X_{тр} = \frac{D(V_c) - D(V_0)}{C}. \qquad (5.13)$$

Яркость трассы будет постоянной, если для одного и того же трассирующего состава сохраняется его расход, т.е.

$$F_{тр1} \cdot u_{тр1} = F_{тр2} \cdot u_{тр2}. \qquad (5.14)$$

Поэтому для вновь разрабатываемой конструкции пули методом подобия можно определить площадь поперечного сечения трассера $F_{тр2}$:

$$F_{тр2} = F_{тр1} \cdot \frac{u_{тр1}}{u_{тр2}}, \qquad (5.15)$$

где $F_{тр1}$ – площадь поперечного сечения; $u_{тр1}$ – скорость горения трассирующего состава пули-аналога.

В этом случае для сохранения яркости трассы необходимо изменить скорость горения за счёт рецептуры химического состава (уменьшения или увеличения флегматизатора) или изменения диаметра выходного отверстия. С уменьшением диаметра скорость горения пиросостава несколько возрастает вследствие повышения давления в трассере.

Опытная проверка дальности и безотказности трассирования проводится на полигоне по специальной инструкции в соответствии с техническим заданием или тактико-техническими требованиями на изделие.

Пример 5.4. Рассчитать предельную дальность трассирования при стрельбе из пулемёта ДШК, клб.12,7 мм бронебойно-зажигательно-трассирующими пулями: V_0=820 м/с, $m_п$=44 г, длина трассера $l_{тр}$=15 мм, скорость горения трассирующего состава u=4 мм/с.

Решение. Определяем полётное время трассирования:

$$\tau_{тр} = \frac{l_{тр}}{u} = \frac{15}{4} = 3{,}75 \text{ с}.$$

Баллистический коэффициент пули при i=1,0 равен:

$$C = \frac{1 \cdot 12{,}7^2 \cdot 10^{-6}}{44 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^3 = 3{,}7.$$

По прил. 1 определяем значение функций начальной скорости $T(V_0)$=5,69434, $D(V_0)$=7100. По формуле (5.12) рассчитываем функцию $T(V_c)$:

$$T(V_c) = C \cdot \tau_{тр} + T(V_0) = 3,7 \cdot 3,75 + 5,69434 = 19,56.$$

По прил. 1 определяем значение скорости на предельной дальности трассирования V_c и функцию $D(V_c)$:

$$V_c \approx 302 \text{ м/с}, \quad D(V_c) = 13550.$$

Далее используем основное баллистическое уравнение для расчёта предельной дальности трассирования:

$$X_{тр} = \frac{D(V_c) - D(V_0)}{C} = \frac{13550 - 7100}{3,7} = 1743 \text{ м}.$$

Предельная дальность трассирования составляет 1743 м. Требуемая дальность трассирования должна быть не менее 1500 м.

5.7. Зажигательные и разрывные (пристрелочные) пули

Зажигательные пули относятся к специальным и предназначены для воспламенения различных целей. По конструкции их разделяют на два вида: с непрерывным горением пиросостава и с ударным его воспламенением при попадании в жёсткую преграду.

Пули первого вида (рис. 5.10, *а*) снаряжают белым фосфором, который возгорается, соединяясь с кислородом воздуха. На полёте фосфор вытекает из отверстия в оболочке, запаянного легкоплавким сплавом. При движении в стволе этот сплав плавится и таким образом открывает отверстие для выхода под действием центробежных сил фосфора, загорающегося на траектории. Эти пули имеют высокую чувствительность и способны зажигать цели, обладающие малым сопротивлением в любой точке траектории.

Пули второго вида (рис. 5.10, *б*) срабатывают только при ударе в цель. Воспламенение зажигательного состава происходит при разрушении оболочки и разбрызгивании пиросостава (обычно белый или жёлтый фосфор), соединяющегося с кислородом воздуха и зажигающего цель. Для проявления зажигательного действия требуется определённое сопротивление преграды, поэтому пули этого вида не обладают высокой чувствительностью. Для повышения чувствительности в конструкциях ударных зажигательных пуль необходимо либо ослабить вершину оболочки,

либо установить чувствительный тонкий наконечник, либо разместить в хвостовой части пули позади зажигательного состава массивный инерционный элемент (например, из свинца).

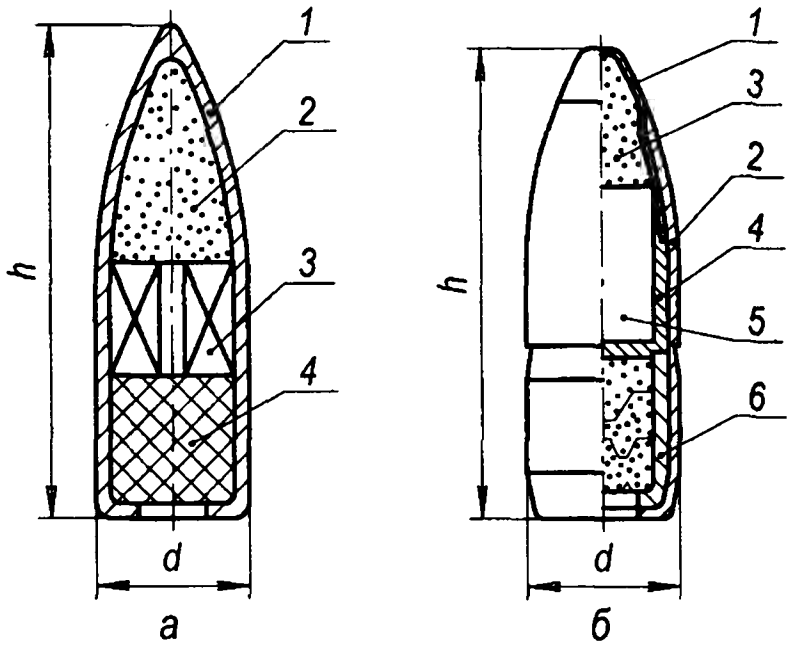


Рис. 5.10. Зажигательные пули: *а* – фосфорные; *б* – ударного действия; *1* – колпачок: *2* – оболочка; *3* – зажигательный состав; *4* – рубашка; *5* – стальной сердечник; *6* – трассер

Фосфорные пули небезопасны при снаряжении, транспортировке и хранении и требуют особой осторожности в обращении. В настоящее время они не применяются.

Широкое распространение зажигательные пули получили в период Второй мировой войны, успешно поражая боевую технику противника, работавшую на бензиновом топливе. В настоящее время двигатели боевой и вспомогательной техники используют так называемые тяжёлые виды топлива: дизельное, керосин и пр. Поэтому для снаряжения зажигательных и бронебойно-зажигательных пуль применяют составы, способные воспламенять такое горючее. Например, для крупнокалиберных пуль используют пиротехнический состав, включающий нитрит натрия, сплав "алюминий-магний" в соотношении 50×50% или 30×50%, с добавкой ТЭНа, повышающего вероятность вспышки. Для тяжёлых видов топлив существует взаимозависимость между температурой кипения и температурой окружающей среды, при которой обеспечиваются вспышка и горение топлива (рис. 5.11).

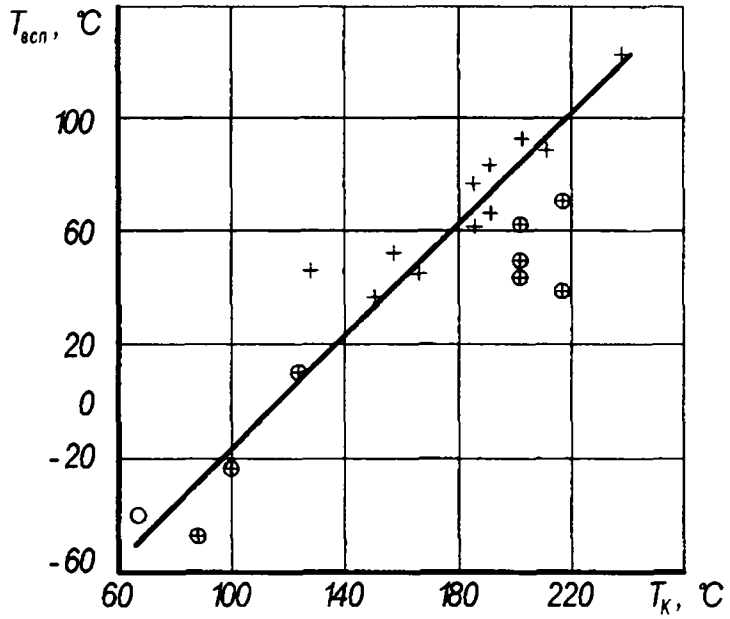


Рис. 5.11. Зависимость температуры вспышки жидкого топлива от температуры его кипения

Воспламенение и горение жидкого топлива происходит в газовой фазе, когда концентрация пара углеводорода в воздухе достигает определённой величины. Для смесей различных видов топлива с воздухом существуют нижние и верхние пределы концентрации (богатые и бедные смеси), когда возможно устойчивое воспламенение. При температуре ниже нижнего и выше верхнего пределов воспламенения над жидкой фракцией топлива образуются не возгорающиеся в воздухе концентрации паров. Воспламеняющейся смесью считается такая, в которой пламя распространяется независимо от источника зажигания. Это означает, что источник зажигания обеспечивает только первоначальное зажжение паровоздушной смеси топлива, после чего пламя распространяется после ликвидации источника зажигания. В негорючей концентрации смеси этого не происходит.

Инициирование взрывчатого превращения пара углеводородного топлива тяжёлых фракций происходит в результате образования локальной концентрации пара после испарения топлива, находящегося вблизи источника воспламенения. После возгорания формируется начальный фронт пламени, происходит прогрев и дополнительное испарение, превращающее негорючую смесь в горючую.

Температура жидкого топлива, при которой пары над его поверхностью образуют с воздухом смесь, способную воспламеняться при поднесении источника зажигания, называется температурой вспышки. Температура вспышки и нижний предел воспламенения горючих жидкостей совпадают. Скорость горения жидкого топлива определяется скоростью испарения его летучих фракций.

При попадании элементов пули в бак гидродинамические силы создают в жидкости волну давления. Жидкость разбрызгивается, образуя паровоздушную смесь. Естественно, что для зажжения тяжёлых жидких видов топлива продолжительность и температура горения зажигательного состава должны быть больше, чем для воспламенения бензина. Продукты сгорания должны остывать медленно, что зависит от размера частиц, их плотности и теплоёмкости.

Как уже указывалось, для усиления эффективности действия зажигательные пули снаряжают пиротехническими составами с добавлением взрывчатых веществ (ВВ). Для повышения чувствительности в конструкции пуль предусматривают ослабление головной части оболочки, применяют наконечники из мягкого материала (томпак, медь, латунь), располагают за пиротехническим составом массивный сердечник. При встрече с преградой оболочка деформируется и состав сжимается между стенками оболочки и поверхностью сердечника. От активного трения частиц состава о контактные поверхности происходит возгорание. Вспышка соответствует моменту удара о преграду, которая ещё не пробита. Только затем раскалённые частицы втягиваются в пробитое отверстие. В таких конструкциях форс огня используется неэффективно, так как только малая часть его попадает в запреградное пространство (рис. 5.12, *а*).

Более рационально используется зажигательный состав в пулях, где он расположен за бронебойным сердечником (рис. 5.12, *б*). Такая конструкция обеспечивает более благоприятные условия для зажжения топлива (в том числе и тяжёлого). Воспламенение зажигательного состава и пробитие брони осуществляются одновременно, активная масса сердечника усиливается массой расположенных сзади элементов и дополнительным импульсом от срабатывания состава. Большая часть форса огня попадает в запреградное пространство, локализует тепловой эффект, который с гидродинамическим ударом создаёт условия для интенсив-

ного возгорания топлива. К недостаткам таких пуль следует отнести меньшую чувствительность по сравнению с пулями, в которых зажигательный состав расположен спереди.

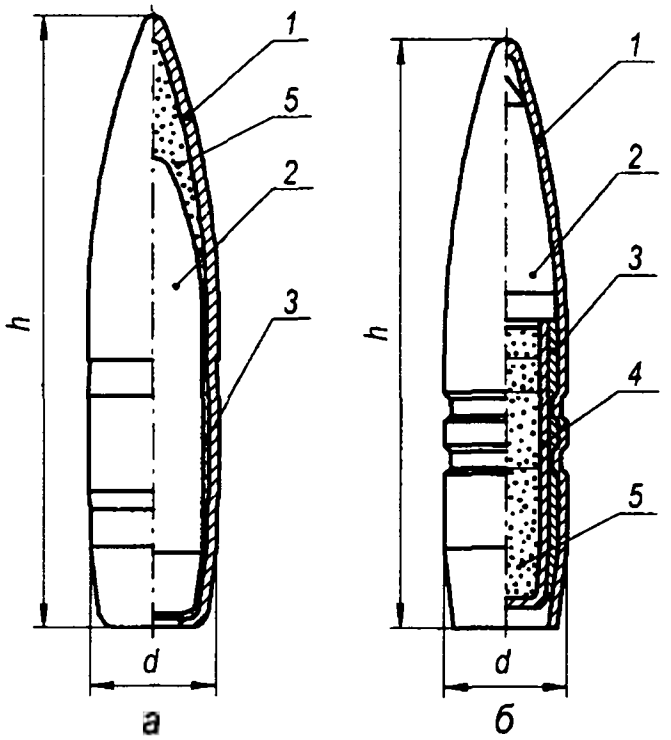


Рис. 5.12. Бронебойно-зажигательные пули с расположением состава впереди (*а*) и за бронебойным сердечником (*б*): *1* – оболочка; *2* – бронебойный сердечник; *3* – рубашка; *4* – пиростакан; *5* – зажигательный состав

Для зажжения материалов, находящихся за тонкой преградой, имеющей невысокую твёрдость (алюминий, тонкая сталь и т.п.), а также для обозначения попадания и определения правильности выбора прицела применяют более чувствительные пули со специальным капсюльным устройством.

Разрывные (пристрелочные) пули предназначены для бризантного поражения целей. При соударении с преградой они разрываются под действием взрывчатого вещества и дают увеличенную область поражения в сравнении с другими видами пуль. Яркая вспышка и облачко дыма при разрыве пули позволяют наблюдать за результатами стрельбы и корректировать огонь на местности, поэтому такие пули называют ещё и пристрелочными.

Эффективность действия разрывных пуль зависит от рецептуры и количества взрывчатого вещества, находящегося в пуле, а также от надёжности срабатывания взрывателя. При попадании в

цель обеспечивается не только разрывное, но и мощное зажигательное действие, для чего в ВВ добавляют зажигательный состав термитного типа.

Для средних калибров разрывные пули снабжают инерционными взрывателями, которые размещают позади разрывного заряда (рис. 5.13). Ударник перед выстрелом удерживается предохранителем, что обеспечивает безопасность в обращении с патронами. При выстреле предохранитель осаживается назад, ударник освобождается и при соударении пули с преградой накалывает капсюль, который детонирует взрывчатое вещество.

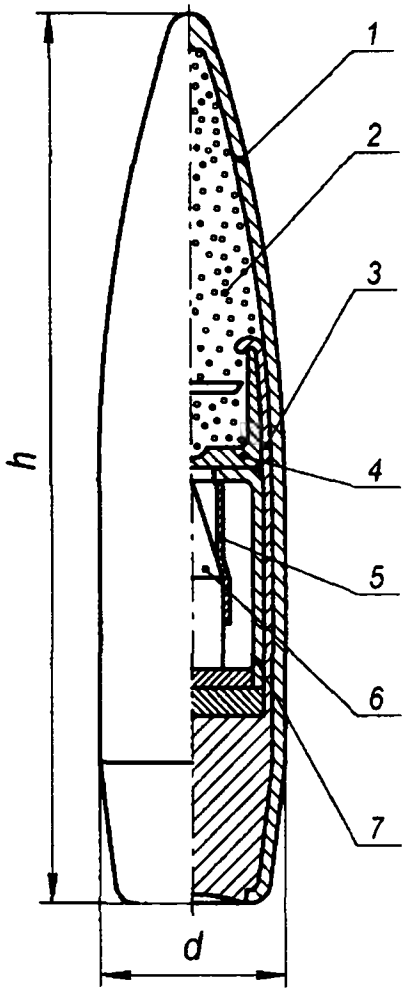


Рис. 5.13. Зажигательная (разрывная) пуля инерционного действия: *1* – оболочка; *2* – зажигательный состав; *3* – рубашка;*4* – капсюль-воспламенитель: 5 – корпус; 6 – ударник; 7 – прокладка

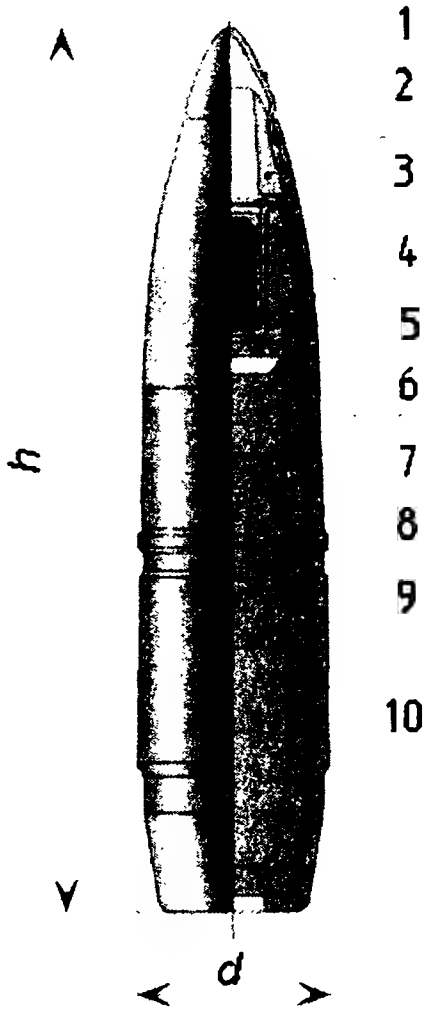


Рис. 5.14. Разрывная пуля мгновенного действия (МДЗ): *1* – наконечник; *2* – рубящая трубка; *3* – колпачок; *4* – капсюль-детонатор; *5* – втулка; *6* – прокладка; *7* – пиростакан; *8* – рубашка; 9 – оболочка; *10* – пиросостав

Крупнокалиберные разрывные пули содержат в своей конструкции взрыватели мгновенного действия. Особенностью конструкции пули МДЗ (мгновенного действия зажигательной) является то, что в капсюле детонатора отсутствует ударник. Капсюль срабатывает при соударении с целью осколками мягкого наконечника, пробиваемого рубящей трубкой (рис. 5.14). Взрывчатым веществом здесь служат гексоген, тротил, тетрил, ТЭН. Тротил – мощное взрывчатое вещество, мало чувствительное к удару и трению, его плотность – 1600 кг/м^3. Тетрил при той же мощности обладает большей чувствительностью к удару и легче детонирует. В целях безопасности его сплавляют с 30...40% тротила для некоторого снижения чувствительности. ТЭН и гексоген обладают мощным разрывным свойством, достаточно чувствительны к удару и детонации и часто применяются для снаряжения разрывных пуль.

На рис. 5.15 показан результат действия пули МДЗ клб.12,7 мм по 2-мм алюминиевому листу с последующим зажиганием бензина.

Рис. 5.15. Действие пули МДЗ по алюминиевому листу с зажиганием топлива

5.8. Пули комбинированного действия

Пули комбинированного действия предназначены, как правило, для поражения боевой техники противника, различных объектов слежения, локации и другого боевого оснащения. Их конструкция отличается многоэлементностью, сочетающей различные действия специальных пуль. Наиболее распространёнными являются бронебойно-зажигательные пули, которые снабжены бронебойным сердечником и зажигательным составом ударного действия (см. рис. 5.12, *а*). Пиротехнические ударные составы имеют такую же компонентную рецептуру, что и трассирующие (см. табл. 5.3). Цементаторы и флегматизаторы в этом случае не применяются вследствие особых условий запрессовки и отсутствия необходимости ограничивать скорость горения.

В ранних разработках конструкции пули зажигательный состав располагался в передней ее части и воспламенялся при соударении с преградой за счёт тепловой энергии, выделяемой при сжатии сердечником, и трения его по поверхности пиросостава. При пробитии брони происходит вспышка, но запреградное зажигательное действие минимально. Более мощное бронепробивное действие реализуется при стрельбе бронебойно-зажигательными пулями, имеющими металлокерамический сердечник и зажигательный состав, размещённый как в носовой, так и в хвостовой части пули (рис. 5.12, *б*, 5.16).

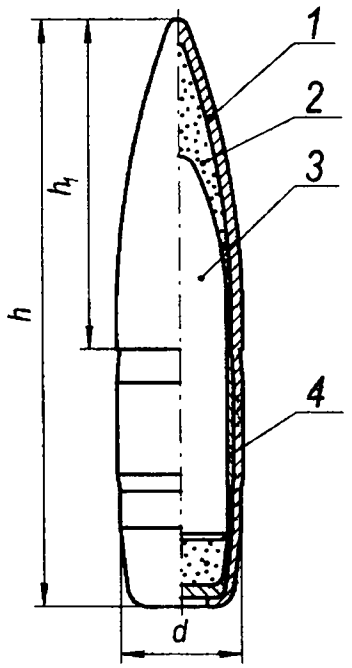


Рис. 5.16. Бронебойно-зажигательная пуля с расположением зажигательного состава в передней и задней частях пули; *1* – оболочка; *2* – зажигательный состав; *3* – сердечник; *4* – свинцовая рубашка

Удар о преграду инициирует вспышку переднего заряда и детонирует задний. Срабатывание заряда, расположенного в хвостовой части, дополняет энергию, которую затрачивает сердечник для пробивания преграды, а форс огня втягивается в запреградное пространство и производит дополнительное поражение.

Предпринимались попытки повысить запреградное действие в некоторых опытных конструкциях пуль, имеющих цельноточёный сердечник с ёмкостью под зажигательный состав. Эти пули, как показали испытания, обладали мощным бронепробивным и запреградным действием. Однако из-за сложности конструкции, нетехнологичности, повышенного износа стволов эти пули не были приняты на вооружение.

Оригинальной следует считать конструкцию бронебойно-зажигательной пули с бронебойным сердечником и расположенным за ним пиросоставом ударного типа с добавлением взрывчатого вещества (рис. 5.17).

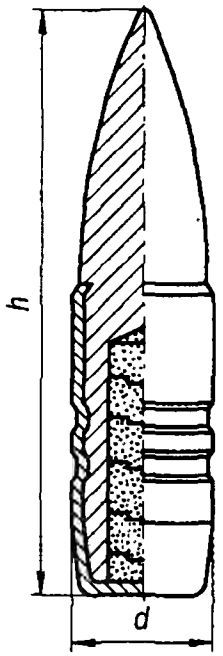


Рис. 5.17. Бронебойно-зажигательная полуоболочечная пуля с цельно-точеным сердечником

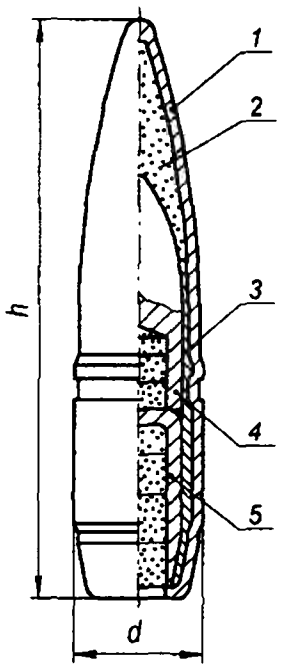


Рис. 5.18. Бронебойно-зажигательно-трассирующая пуля (БЗТМ); *1* –оболочка; *2* – зажигательный состав; *3* – свинцовая рубашка; *4* – сердечник; *5* – пиростакан

Эффективность действия таких пуль превосходит аналоги по толщине пробиваемой брони и мощному запреградному действию. Достаточно сказать, что, пробивая броню толщиной 15 мм, пуля способна зажигать дизельное топливо (ТС-1, ТС-2) и топлива для реактивных двигателей. Имея неплохую динамическую сбалансированность, такие пули дают высокую кучность боя и

могут использоваться для стрельбы не только из крупнокалиберных пулемётов, но и из специальных снайперских систем.

Бронебойно-зажигательно-трассирующие пули (рис. 5.18) отличаются от предыдущих наличием трассера, который усиливает зажигательное действие, но ослабляет бронебойный эффект из-за уменьшения длины и массы бронебойного сердечника.

Основным недостатком многоэлементных пуль, к которым относятся пули комбинированного действия, следует считать их сложность, низкую технологичность и недостаточную динамическую сбалансированность. Последнее обстоятельство не даёт возможности строго стабилизировать пули на полёте, что приводит к их большому рассеиванию при стрельбе.

5.9. Пули для снайперских патронов

Современные снайперские патроны относятся к отдельному виду патронов, изготавливаемых по специальной конструкторской документации, и предназначены для стрельбы из снайперского оружия, способного поразить цель на большой дальности.

В период Второй мировой войны армейские снайперы снабжались индивидуальным оружием с оптическим прицелом и патронами штатных образцов. Специальный отбор оружия и боеприпасов обеспечивал некоторое преимущество по эффективности действия, но не всегда давал возможность снайперским подразделениям выполнять поставленные перед ними задачи.

В послевоенные годы была создана концепция применения снайперского оружия и боеприпасов к нему, которая определила ряд требований к конструкции систем, особенностям технических решений по компоновке и изготовлению боеприпасов. Дело в том, что обычные патроны, изготовленные для штатного оружия по валовой технологии, дают при стрельбе большое рассеивание пуль и непригодны для снайперского оружия. Так, например, при стрельбе из снайперской винтовки крупного калибра на дальности 1000 м обычными патронами гарантировано попадание в прямоугольник размером 3,5×6 м! Проблема повышения точности стрельбы осложняется тем, что на рассеивание пуль при стрельбе в разной степени влияют многие факторы. Применительно к патрону их можно разделить на две группы:

1) конструктивные – соотношение геометрических размеров и масс, количество элементов в пуле, расположение центра масс, величина допусков на размеры элементов и пули в целом и др.;

2) технологические – величина разностенности полых элементов пули, наличие эллипсности и неперпендикулярности торцов деталей относительно оси пули, плотность монтажа и биение отдельных частей пули относительно ведущей её части, наличие смещения центра масс в радиальном и осевом направлениях, разброс в навеске заряда, стабильность пулеизвлекающего усилия и др.

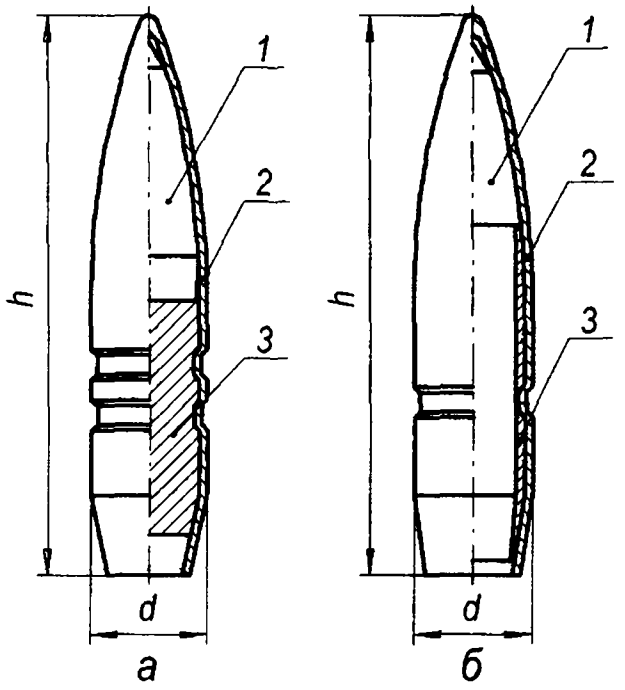


Рис. 5.19. Пули к крупнокалиберным снайперским патронам: *а* – со стальным сердечником и свинцовым балластом; *б* – со стальным сердечником: *1* – стальной сердечник; *2* – оболочка; *3* – свинцовая рубашка (балласт)

Например, практикой стрелковых испытаний установлено, что для крупнокалиберных систем наиболее благоприятны такие соотношения:

- расположение центра масс от основания хвостовой части $0{,}39...0{,}40l_п$;
- биение головной части относительно ведущей не более 0,16 мм;
- эллипсность ведущей части не более 0,04 мм;
- разностенность оболочки не более 0,04 мм;
- разностенность рубашки не более 0,04 мм;

– биение головной и хвостовой частей сердечника не более 0,06 мм;

– перпендикулярность торцевой поверхности сердечника к его оси не более 0,04 мм и т.д.

Для снайперских патронов наиболее рационально применение двухэлементных пуль со свинцовым или стальным (рис. 5.19, *а*) сердечником (например, для клб.7,62 мм), в которых сведены до минимума радиальные смещения элементов. В бронебойных пулях для крупнокалиберных снайперских систем целесообразно последовательное расположение сердечника и свинцового балласта (рис. 5.19, *б*). Наличие свинца в задней части существенно утяжеляет пулю, что приводит к значительному росту импульса отдачи.

5.10. Пули к пистолетным патронам

В настоящее время пистолетные пули отличаются большим разнообразием. В соответствии с концепцией применения боевого, служебного и гражданского оружия пистолетные патроны снаряжают различными видами пуль, которые можно сгруппировать по следующим признакам:

- по действию – обыкновенного, специального, комбинированного;
- по конструкции – безоболочечные, полуоболочечные, оболочечные;
- по применяемым материалам – из неметаллических материалов, из металлических материалов, комбинированные.

На рис. 5.20 приведены конструкции безоболочечных пуль. Свинцовые пули применяют в малокалиберных спортивных пистолетах, а также для некоторых револьверных систем (например, револьвер сист. Л.Нагана).

Достоинствами цельных свинцовых пуль являются их достаточно неплохая сбалансированность и простота изготовления. Основными недостатками следует считать невысокую прочность ведущей части и невозможность достижения высокой скорости из-за срыва с нарезов канала ствола. В последнее время стали применять свинцовые пули, покрытые слоем латуни или меди толщиной 6...10 мкм. Такие пули менее токсичны при стрельбе и эксплуатации и не засвинцовывают нарезы канала ствола.

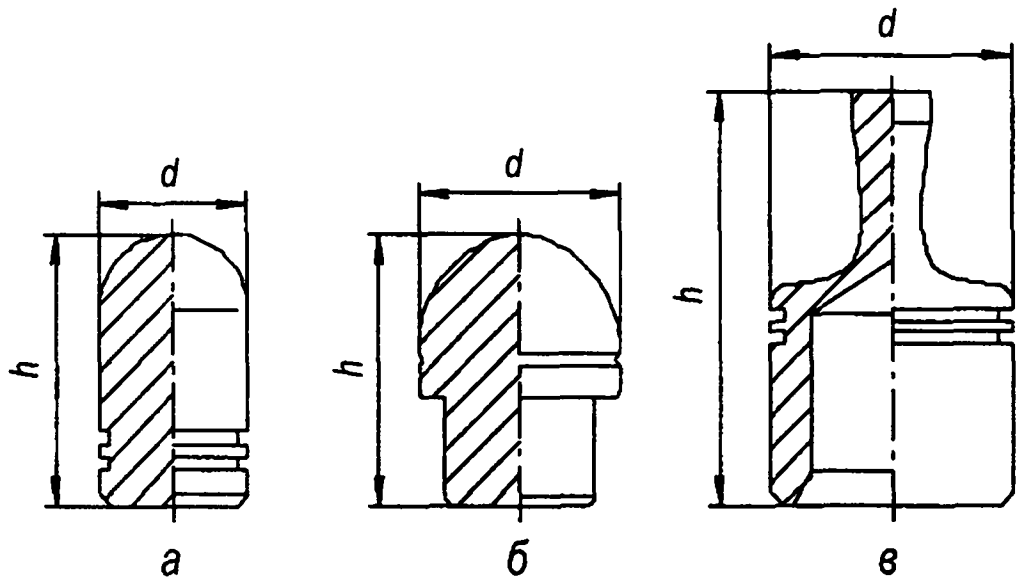


Рис. 5.20. Пистолетные безоболочечные пули: *а* – свинцовая для малокалиберного пистолета; *б* – резиновая; *в* – пустотелая алюминиевая

Резиновые и пластиковые пули (рис. 5.20, *б*) используют для служебного оружия полицейских подразделений с целью предотвращения противостояния или силового столкновения различных скоплений населения (забастовки, акции протеста, несанкционированные демонстрации и т.п.). При стрельбе такими пулями исключается летальный исход, хотя и создаётся болевой и психологический шок.

Пули полые остроконечные (рис. 5.20, *в*) предназначены также для патронов к служебному оружию правоохранительных органов. Характерными особенностями этих конструкций являются их небольшая масса (1,9...2,4 г для клб.9,0 мм) и высокая начальная скорость – до 900 м/с. Дальность эффективной стрельбы 20...25 м. На бóльших дистанциях такая пуля резко теряет скорость и становится безопасной из-за большого лобового сопротивления и минимальной массы. Пустотелая конструкция и наличие передней грани снижают эффект рикошетирования.

Наиболее распространены в пистолетных патронах оболочечные пули, которые широко применяют для боевого и служебного оружия (рис. 5.21). Тупоконечный профиль (полусферический или конический), значительная масса (6,0...12,0 г) и начальная скорость в пределах 300...500 м/с и более обеспечивают эффективное действие этих пуль при прицельной стрельбе до 50 м и

убойное действие на дистанции до 200 м и более. В некоторых системах, особенно в пистолетах-пулемётах, применяют патроны с трассирующими пулями (рис 5.21, *в*).

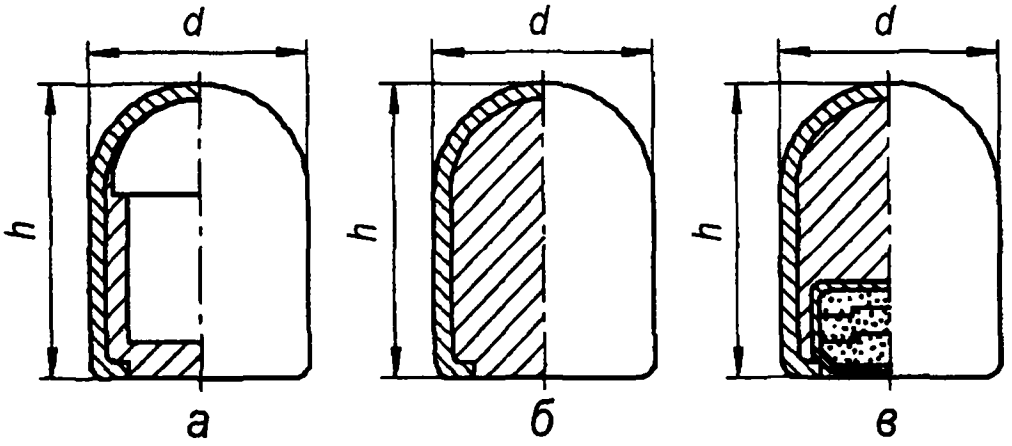


Рис. 5.21. Пистолетные оболочечные пули: *а* – со стальным сердечником; *б* – со свинцовым сердечником: *в* – трассирующая

В настоящее время в связи с обострившейся криминогенной обстановкой спецподразделениями используются пистолетные патроны с пулями повышенной эффективности действия. Это, как правило, полуоболочечные конструкции, в которых предусмотрены термоупрочненные сердечники, а иногда и зажигательный состав (рис. 5.22).

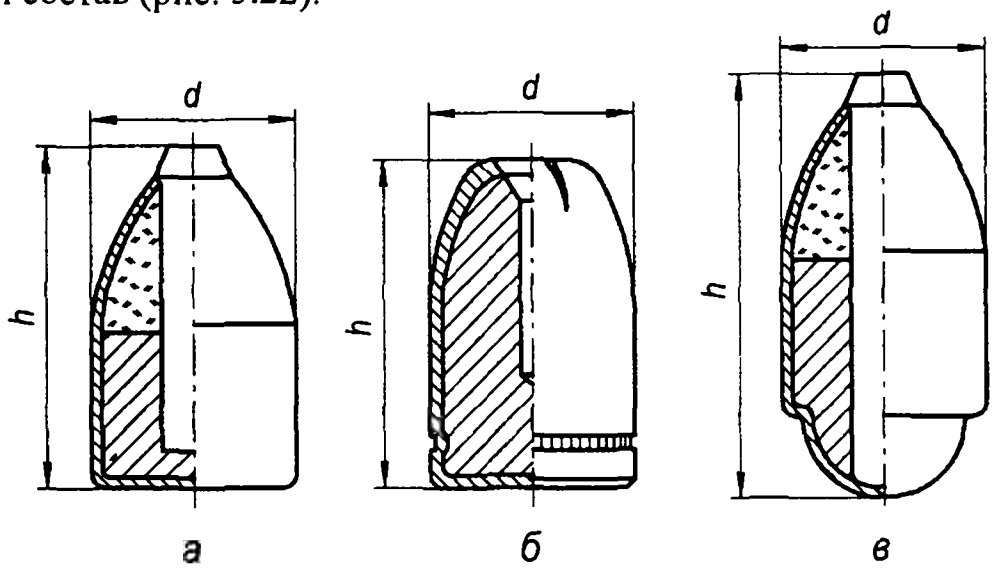


Рис. 5.22. Разновидности полуоболочечных пистолетных пуль: *а*, *в* – бронебойно-зажигательные; *б* – экспансивная

Такие пули способны пробивать индивидуальные средства защиты, обшивку и резину автомобилей, создавать шок от вспышки зажигательного состава, поджигать бензобаки и т.п. Достаточно широкое распространение получили и экспансивные конструкции.

К пистолетным пулям предъявляют высокие требования по останавливающему действию, т.е. лишению противника способности оказывать сопротивление, использовать автомобильный транспорт и личное оружие. Ещё одним из важнейших требований, особенно к пулям патронов для служебного оружия, которое нередко применяется в условиях большого скопления мирного населения, является минимальная склонность к рикошету. При касательном соударении с жёсткой преградой пуля (элементы пули) меняет направление полёта и способна поразить случайный объект. В табл. 5.5 приведены некоторые результаты испытаний на рикошет и бронепробитие пистолетных пуль различных систем.

Таблица 5.5

Результаты испытаний на рикошет пистолетных пуль (дистанция стрельбы 25 м)

Наименование патронов	Рикошет пуль, % от числа зачётных попаданий			Угол отражения, град
	60°	45°	30°	
9-мм Макаров (9×18), со стальным сердечником	100	100	–	56
9-мм Макаров (9×18), со свинцовым сердечником	100	30	–	57
9-мм Люгер (сферическая)	100	20	–	55
9×17К Люгер (тупоконечная)	100	–	–	58
40. S&W (свинц. тупоконечная)	100	–	–	53

Стрельба велась сериями по 10 выстрелов каждого вида пуль при установке мишени под углами встречи 30°; 45°; 60° (рис. 5.23).

Угол встречи пули с преградой – это угол, образованный линией стрельбы и нормалью к поверхности мишени. Зачётным считается попадание пули в плоскость мишени, а рикошет засчитывается при наличии пробоины в боковой стенке фанерного коридора.

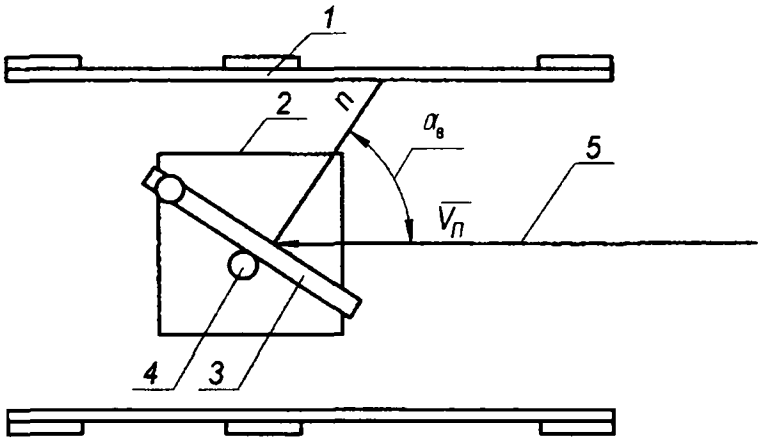


Рис. 5.23. Установка для замера рикошета пуль: *1* – фанерный коридор: *2* – металлическая тумба: *3* – мишень; *4* – фиксатор мишени: *5* – линия стрельбы

При стрельбе по мишени из сосновых досок под углом 60° рикошет не обнаружен для всех видов пуль. Рикошет от стальной мишени при угле встречи 60° для всех видов пуль составляет 100%. При этом энергии отраженной пули было достаточно для пробития 4-мм фанеры коридора и скола кирпичной кладки.

Под углом встречи 45° более склонны к рикошету пули со сферической головной частью или близкие к сфере. Пули со стальным сердечником дали больший процент рикошета, чем со свинцовым. Тупоконечная коническая форма головной части пули уменьшает рикошет (9×17К Люгер). При 100%-ном рикошетировании угол отражения чуть меньше угла встречи (рис. 5.24).

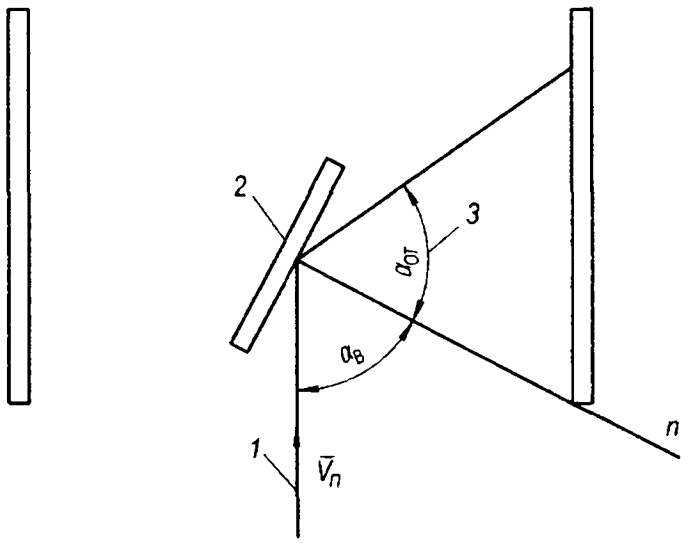


Рис. 5.24. Схема замера угла встречи и угла отражения: *1* – линия стрельбы: *2* – мишень: *3* – угол отражения ($\alpha_{от}$); *4* – угол встречи ($\alpha_в$)

Следует отметить, что исследования по рикошетированию весьма ограничены. Можно предположить, что склонность к рикошету снижается при увеличении скорости встречи с преградой при невысокой прочности последней.

Для расчётной оценки убойного действия пистолетных пуль возможно использование формулы (5.2), определяющей потерю кинетической энергии при попадании в мышечную ткань.

Однако было установлено, что эта формула даёт завышенный результат, поскольку не учитывает тупоконечную форму головной части пистолетных пуль, увеличивающую объём бокового поражающего действия. Исходя из равенства объёмов поражённой области мышечной ткани тупоконечной и остроконечной пулями с одинаковой кинетической энергией, можно определить поправочный коэффициент $K_и$ в формуле

$$\Delta E = K_и \cdot \lambda \frac{\pi d^2}{4} \cdot a \cdot S\left(1 + bV_c^2\right). \qquad (5.16)$$

Значение $K_и$ принимают в зависимости от отношения $m_п/d$ по графику рис. 5.25.

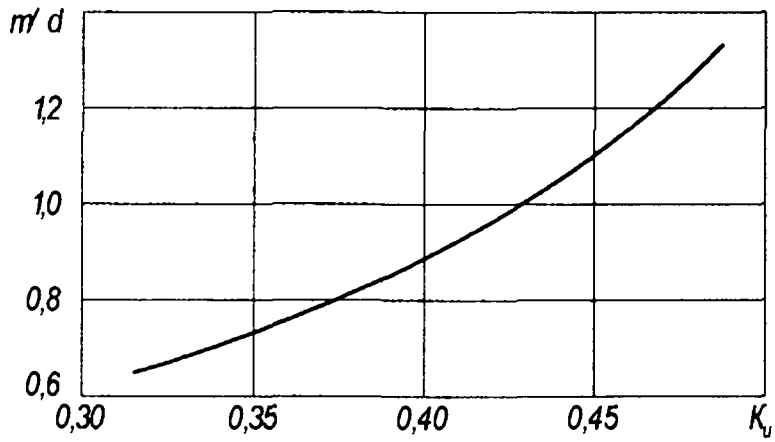


Рис. 5.25. Зависимость поправочного коэффициента $K_и$ от $m_п/d$ для пистолетных пуль

Пример 5.5. Определить предельную убойную дальность полёта пуль при стрельбе из пистолета-пулемёта Шпагина (ППШ), если d=7,62 мм, $m_п$=5,5 г, V_0=420 м/с, h_1=6,5 мм.

Решение. Для стрельбы из пистолета-пулемёта ППШ приме-

няют патроны к пистолету ТТ. Коэффициент формы пули определяем по формуле (4.18):

$$i = 1{,}1 - 0{,}343\frac{6{,}8}{7{,}62} + 0{,}042\left(\frac{6{,}8}{7{,}62}\right)^2 = 0{,}80 \text{ (по Сиаччи)},$$

$$i = \frac{0{,}84}{0{,}50} = 1{,}60 \text{ (по закону 1943 г.)}.$$

Баллистический коэффициент

$$C = \frac{i \cdot d^2}{q_п} = \frac{1{,}68 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6}}{5{,}5 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^3 = 17{,}0.$$

Скорость на предельной убойной дистанции определим по формуле (5.16) с учётом коэффициента $K_и$ (см. рис. 5.25):

$$\frac{m_п}{d} = \frac{5{,}5}{7{,}62} = 0{,}72 \Rightarrow K_и = 0{,}37,$$

$$\lambda = 1{,}91 - 0{,}35\frac{6{,}8}{7{,}62} = 1{,}60;$$

$$V_c = \sqrt{\left(\frac{30 \cdot 4}{0{,}37 \cdot 1{,}6 \cdot 3{,}14 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6} \cdot 43{,}4 \cdot 10^5 \cdot 0{,}1} - 1\right)\frac{1}{1{,}8 \cdot 10^{-5}}} = 294 \text{ м/с}.$$

По прил. 1 определим функции $D(V_0)$=11250; $D(V_c)$=13900:

$$X_{пр} = \frac{13900 - 11250}{17{,}0} = 156 \text{ м}.$$

Убойное действие пуля сохранит на дистанции 156 м.

6. ДИНАМИЧЕСКИЕ, БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬ

6.1. Определение динамических характеристик пуль

Практикой проектирования и боевого применения патронов стрелкового оружия отработаны и приняты основные соотношения наружного очертания пуль (рис. 6.1, *а*). Обычно все геометрические параметры выражают в калибрах *d*:

H= (3,5…4,5)d; R= (5…15)d;

h_1= (2,0…3,0)d; r=1…3 мм;

h_2= (1,0…1,5)d; α=6°…9°;

h_3= (0,5…0,8)d; d_1=(0,7…0,9)d.

Диаметр ведущей части пули назначается большим, чем калибр, на величину (1,8…2,0)δ_0, где δ_0 – глубина нарезов канала ствола.

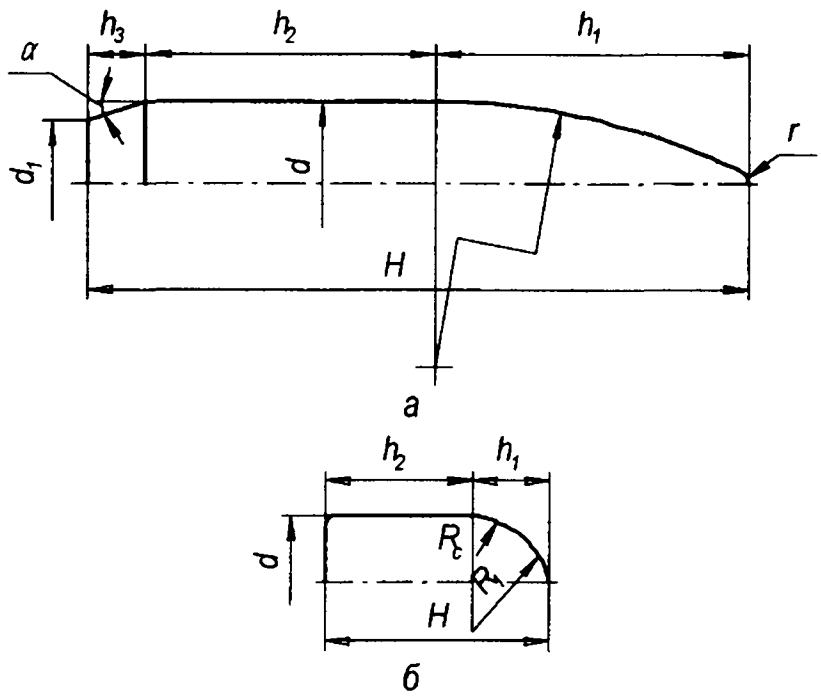


Рис. 6.1. Основные геометрические параметры оболочечных пуль: *а* – винтовочные, автоматные; *б* – пистолетные

Для пуль патрона обр. 43 г. к автомату Калашникова соотношение размеров таково:

H=3,5d; R=5,1d;
h_1=2,0d; r=1,05 мм;
h_2=1,0d; α=8°;
h_3=0,5d; d_1=6,0 мм

Наружный диаметр ведущей части – 7,85 мм.

Пистолетные пули имеют несколько другие соотношения (рис.6.1, *б*):

H = (1,4...2,2)d; R = (0,5...0,7)d – возможно сопряжение двух радиусов; h_1 = (0,5...0,7)d; h_2 = (0,7...1,5)d.

Для пули к пистолету Макарова со стальным сердечником:

H = 1,4d; R=0,33d; h_1 = 0,7d; h_2 = 0,7d.

Наружный диаметр ведущей части пули – 9,27 мм.

Естественно, что эти соотношения могут изменяться в небольших пределах при динамической сбалансированности пули. Для обеспечения устойчивости пули на полёте ей придают вращательное движение. При этом крутизна нарезов должна строго соответствовать той гамме динамических характеристик, которые входят составляющими в выражение (4.23), определяющее требуемый шаг нарезов. К этим характеристикам относятся масса пули $m_п$, местоположение центра масс (ц.м.) и центра приложения силы сопротивления воздуха (ц.с.), осевой A (полярный) и экваториальный B моменты инерции, коэффициент массы C_q и поперечная нагрузка $A_{п.ч}$.

Расчёт динамических характеристик производят после конструктивного оформления и установления номинальных размеров пули и её элементов. Для проведения расчётов строят модель с разбивкой пули на однородные детали: оболочка, рубашка, пиросостав и т.д.; участки наружного и внутреннего контуров элементов различаются только типом образующей поверхности (радиальная, цилиндрическая, коническая) (рис. 6.2).

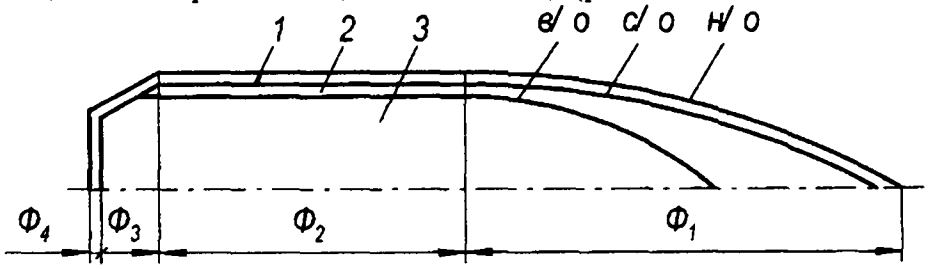


Рис. 6.2. Схема пули для определения исходных геометрических данных при расчёте динамических характеристик: *1* – оболочка; *2* – рубашка; *3* – сердечник

Вначале определяют объёмные характеристики элементов деталей пули (объём, положение центра объёма, моменты инерции объёма), затем учитывая плотность материала каждой детали пули, переходят к массовым характеристикам.

Объёмные характеристики произвольного j-го элемента, образованного вращением вокруг продольной оси OX участка образующей $y=y(x)$ и ограниченного координатами x_1 и x_2, для i-й детали определяют по следующим зависимостям:

– статический объёмный момент относительно начала координат

$$M_{ij} = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 x dx; \tag{6.1}$$

– положение центра объёма V_{ij} относительно начала координат

$$x_{e_{ij}} = M_{ij} / V_{ij}; \tag{6.2}$$

– осевой объёмный момент инерции (относительно продольной оси OX)

$$A_{o_{ij}} = \frac{\pi}{2} \int_{x_1}^{x_2} y^4 dx; \tag{6.3}$$

– экваториальный объёмный момент инерции относительно оси, проходящей через начало координат перпендикулярно оси OX,

$$B_{o_{ij}} = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 x^2 dx; \tag{6.4}$$

– объём

$$V_{ij} = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 dx. \tag{6.5}$$

Масса элемента

$$q_{ij} = \gamma_i V_{ij}, \tag{6.6}$$

где γ_i – плотность материала i-й детали.

Масса детали

$$q_i = \sum_{j=1}^{m_i} q_{ij}; \tag{6.7}$$

масса пули

$$q = \sum_{i=1}^{K} q_i \cdot \tag{6.8}$$

Статический момент детали пули относительно начала координат

$$M_i = \sum_{j=1}^{m_i} x_{c_{ij}} \cdot q_{ij} \cdot \tag{6.9}$$

Положение центра масс детали пули относительно начала координат

$$X_{c_i} = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} x_{c_{ij}} \cdot q_{ij}}{q_i} = \frac{M_i}{q_i}; \tag{6.10}$$

статический момент пули

$$M = \sum_{i=1}^{K} x_{c_i} q_i; \tag{6.11}$$

положение центра масс пули относительно начала координат

$$X_c = \frac{M}{q}. \tag{6.12}$$

Последовательность вычисление моментов инерции.

Определяют осевой момент инерции элемента:

$$J_{A_{ij}} = \gamma_i A_{o_{ij}} \cdot \tag{6.13}$$

Момент инерции элемента относительно перпендикулярной оси *OX* и проходящей через центр массы пули x_c

$$J_{B_{ij}} = q_i\left(B_{o_{ij}} - V_{ij} \cdot x_{ij}^2 + V_{ij}\left(x_c - x_{c_{ij}}\right)^2\right). \tag{6.14}$$

Соответственно моменты инерции детали пули

$$J_{A_i} = \sum_{j=1}^{m_i} J_{A_{ij}}; \qquad J_{B_i} = \sum_{j=1}^{m_i} J_{B_{ij}} \cdot$$

Моменты инерции пули:

– осевой

$$J_A = \sum_{i=1}^{K} J_{A_i}; \tag{6.15}$$

– экваториальный

$$J_B = \frac{1}{2} J_A + \sum_{i=1}^{K} J_{B_i} . \qquad (6.16)$$

Приведённая последовательность расчёта динамических характеристик удобна при использовании вычислительной техники. Исходные данные снимают с рабочего эскиза пули и заносят в специальную таблицу (табл. 6.1). При построении эскиза вносят следующие упрощения и изменения:

– переход пульной оболочки на торец дна острый;

– цилиндрическая часть пули гладкая без канавок;

– притупление вершины пули не учитывают, и оживальная часть оболочки (рубашки) очерчивается на острие.

Таблица 6.1

Исходные данные для динамических характеристик пули

Наименование деталей	Признак поверхности участка, L	Абсциссы		Ординаты		Радиус оживального участка R, мм	Плотность материала детали $\gamma \cdot 10^3$, кг/м^3
		начала участка x_1, мм	конца участка x_2, мм	начала участка y_1, мм	конца участка y_2, мм		
Оболочка	2	x_{1o}	x_{2o}	y_{1o}	y_{2o}	R_1	7.85
	…	…	…	…	…	…	…
Рубашка	…	…	…	…	…	…	…
	1	x_{1p}	x_{2p}	y_{1p}	y_{2p}	0,0	11,4
	…	…	…	…	…	…	…
	1	x'_{1p}	x'_{2p}	y'_{1p}	y'_{2p}	0,0	11,4
Сердечник	2	x_{1c}	x_{2c}	y_{1c}	y_{2c}	R_2	7.85
	…	…	…	…	…	…	…

Для приближённых расчётов также используют способ В.М. Трофимова, суть которого заключается в следующем.

Расчётная модель строится с учётом того, что в пуле различают элементы – однородные части пули (оболочка, сердечник, рубашка и т.п.) и участки элементов, имеющие однородное очертание (цилиндр, усечённый конус, головная часть и др.).

Все последующие расчёты относятся к участкам однородных элементов пули, поэтому вначале определяют объёмные характе-

ристики (объём вместо массы, положение центра объёма моменты инерции объёма). Переход от объёмных характеристик к массовым осуществляют с учётом плотности материалов элементов пули. Объёмные характеристики произвольного участка элемента пули (рис. 6.3) определяют по зависимостям (6.1)...(6.5), а затем переходят к упрощённому способу расчёта (метод В.М. Трофимова).

Если взять достаточно малый участок элемента любого очертания, то в общем случае его можно представить в виде усечённого конуса (рис. 6.4), радиус боковой поверхности которого определяется зависимостью

$$R_z = R_i - \frac{R_i - r_i}{n_i} \cdot x\,. \tag{6.17}$$

Объём усечённого конуса вычисляется по формуле

$$V_i = \frac{\pi h_i}{3}\left(R_i^2 + R_i r_i + r_i^2\right). \tag{6.18}$$

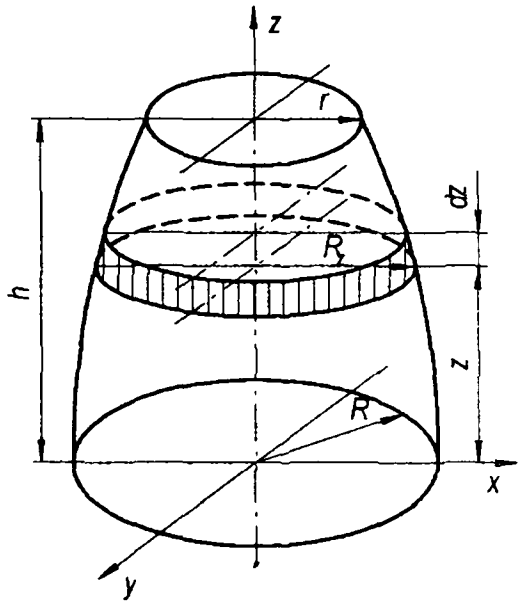


Рис. 6.3. Размеры произвольного участка элемента пули

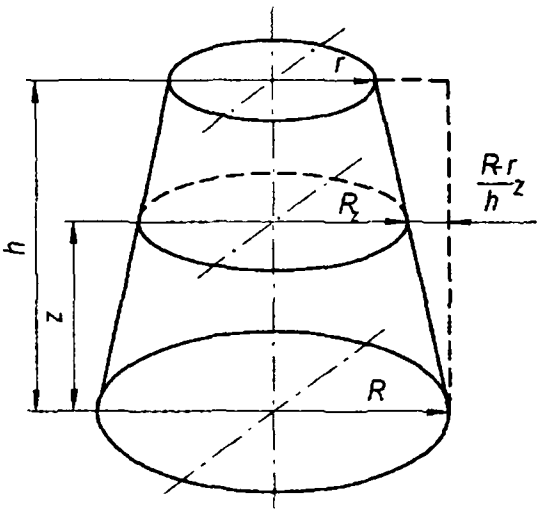


Рис. 6.4. Размеры усеченного конуса

Введя параметр $\rho = r_i / R_i$, получим

$$V_i = \frac{1}{3}\pi \cdot R_i^2 \cdot h_i\left(1 + \rho + \rho^2\right) \tag{6.19}$$

или

$$V_i = \alpha \cdot R_i^2 \cdot h_i\,, \tag{6.20}$$

где $\alpha = \frac{\pi}{3}\left(1+\rho+\rho^2\right)$.

Значения коэффициента α находятся в пределах $0 \le \alpha \le \pi$ и для каждого конкретного случая могут быть рассчитаны по зависимости (6.20) или определены по прил.1. Крайние значения соответствуют цилиндру (ρ=1, α=π) и прямому конусу (ρ=0, α=π/3).

Положение центра объёма с учётом зависимостей (6.1) и (6.2) определяется следующим образом:

$$x_i = \frac{\frac{1}{12}\pi R_i^2 h_i^2\left(1+2\rho^2+3\rho^2\right)}{\alpha \cdot R_i^2 \cdot h_i} \qquad (6.21)$$

или

$$x_i = \beta \cdot h_i \ , \qquad (6.22)$$

где

$$\beta = \frac{1}{4} \cdot \frac{1+2\rho+3\rho^2}{1+\rho+\rho^2} . \qquad (6.23)$$

Коэффициент β=1/4 для прямого конуса и β=1/2 для цилиндра.

Осевой момент инерции для усечённого конуса, как следует из выражения (6.3), определяется так:

$$A_i = \frac{\pi}{10} R_i^4 \left(1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4\right) h_i . \qquad (6.24)$$

С учётом (6.20) формула для расчёта объемного осевого момента инерции примет вид

$$A_i = \frac{\pi}{10} R_i^2 V_i \frac{1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4}{1+\rho+\rho^2} \qquad (6.25)$$

или

$$A_i = \mu \cdot V_i \cdot R_i^2 , \qquad (6.26)$$

где $\mu = 0{,}3\frac{1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4}{1+\rho+\rho^2}$.

Коэффициент μ определяют расчётом или по прил. 5. Для прямого конуса μ=0,3, для цилиндра μ=0,5.

Экваториальный момент инерции объёма фигуры относительно оси, проходящей через центр объёма пули, с учётом выражения (6.4) определяется как

$$B_i = \frac{1}{2} A_i + \nu \cdot V_i \cdot h_i^2 + V_i \cdot l_i^2 , \qquad (6.27)$$

где $\mu = \frac{3}{80} \cdot \frac{(1+\rho)^2 + 4\rho^2}{\left(1+\rho+\rho^2\right)^2}$; l_i – расстояние от центра объёма фигуры до центра объёма пули.

Значение коэффициента ν находится в пределах: $3/80 < \nu < 1/12$.

Приведённые для усечённого конуса формулы позволяют вычислить динамические характеристики отдельных участков пули, ограниченных цилиндрическими и коническими поверхностями. Для головной части пули, которая чаще всего образована вращением дуги окружности радиусом R, центр которой находится в плоскости основания либо смещён на величину ξ (рис. 6.5), динамические объёмные характеристики определяются с учётом кривизны рассматриваемого элемента:

$$V_i = \alpha' R_i^2 \cdot h_i ; \; x_i = \beta' h_i ; \; A_i = \mu' V_i R_i^2 ; \; B_i = \frac{1}{2} A_i + \nu' V_i h_i^2 + V_i l_i^2 ,$$

где α', β', μ', ν' - геометрические коэффициенты, которые зависят от параметра $\rho' = 2\frac{h}{d_0}$ и определяются по прил. 5.

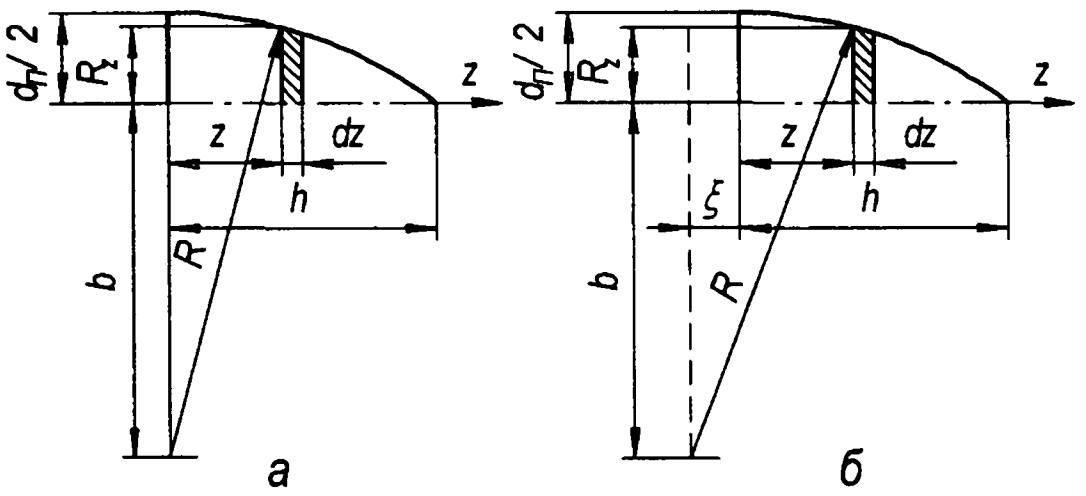


Рис. 6.5. Очертания головной части пули; *а* – без смещения центра кривизны; *б* – со смещением

Если радиусная часть образована вращением дуги окружности, центр которой смещён от плоскости основания на величину ξ, то радиус R_z в любом сечении фигуры определяется выражением

$$R_z = \sqrt{R^2 - (x+\xi)^2} - \sqrt{R^2 - (h+\xi)^2}\,, \qquad (6.28)$$

которое при $\xi=0$ упрощается:

$$R_z = \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{R^2 - h^2}\,. \qquad (6.29)$$

Подставляя эти формулы в общие выражения для динамических характеристик, получим расчётные зависимости для радиусной фигуры пули.

При использовании приведённой выше методики расчёты динамических характеристик пули осуществляют в следующем порядке.

1. Вычерчивают эскиз пули и проставляют размеры элементов.

2. Контур пули делят на характерные фигуры: радиусная, цилиндрическая, коническая и т.п.

3. Устанавливают контуры элементов пули по каждой фигуре (рис. 6.6): наружный контур, внутренний и т.д., в зависимости от количества элементов пули.

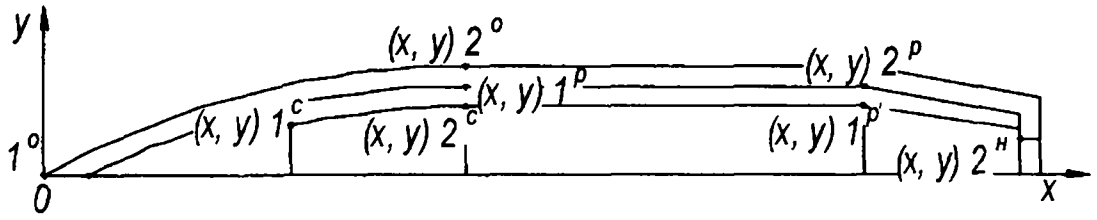


Рис. 6.6. Эскиз пули для расчёта динамических характеристик по методу В.М. Трофимова

4. Для каждого контура фигуры снимают размеры и определяют величины h, h^2, R^2, рассчитывают параметры $\rho=2r/d$, $\rho'=2h/d$, устанавливают коэффициенты α, β, μ, ν, α', β', μ', ν' и заносят для удобства выполнения расчётов в специальную табличную форму (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Форма для расчёта динамических характеристик бронебойно-зажигательно-трассирующей пули

Параметр	Хвостовая часть (1)			Средняя часть (2)		Головная часть (3)		
	Наружное очертание	1-е внутреннее очертание	2-е внутреннее очертание	Наружное очертание	Внутреннее очертание	Наружное очертание	1-е наружное очертание	2-е наружное очертание
Исходные данные								
R, см	0,395	0,35	0,30	0,395	1,35	0,395	0,35	0,35
h, см	1,65	1,65	1,65	0,45	0,45	1,86	1,76	1,05
ρ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	4,70	5,03	3,00
α	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	1,70	1,69	1,73
β	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,316	0,315	0,320
μ	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,394	0,394	0,396
γ	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,046	0,046	0,046
R^2, см^2	0,156	0,123	0,090	0,156	0,123	0,156	0,123	0,123
h^2, см^2	2,72	2,72	2,72	0,202	0,202	3,46	3,10	3,10
l', см	0,83	0,83	0,83	1,88	1,88	2,69	2,66	2,44
l, см	0,85	0,85	0,85	0,20	0,20	1,01	0,975	0,756
l^2, см^2	0,722	0,722	0,722	0,40	0,40	1,02	0,95	0,57
Результаты расчета								
$\upsilon=\alpha R^2 h$, см^3	0,808	0,637	0,466	0,220	0,174	0,493	0,394	0,224
$z=\beta h$,см	0,83	0,83	0,83	0,23	0,23	0,587	0,555	0,336
$M=\upsilon l$, см^4	0,670	0,528	0,387	0,414	0,327	1,320	0,967	0,547
$A=\mu\nu R^2$, см	0,630	0,039	0,021	0,017	0,010	0,0302	0,0176	0,0109
$B_1=\nu\upsilon h^2$, см^5	0,182	0,144	0,105	0,0037	0,0029	0,0785	0,0520	0,0113
$B_2=\upsilon l$, см^5	0,583	0,460	0,336	0,0088	0,0069	0,503	0,356	0,128
$B'=B_1+B_2$, см^5	0,765	0,604	0,441	0,0125	0,0098	0,582	0,408	0,0139

5. По расчётным формулам для каждого контура фигуры вычисляют объём, а объём отдельного элемента фигуры устанавливают как разность, например, наружного и среднего контуров (оболочка):

$$V_i = V_{ni} - V_{ci}\,.$$

6. Используя плотности материалов, из которых изготовлены элементы пули (табл. 6.3), рассчитывают массы элементов:

$$m_i = V_{i1}\cdot\gamma_i + V_{i2}\cdot\gamma_i + \ldots V_{in}\cdot\gamma_i\,,$$

а массу пули как сумму масс элементов:

$$m_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} m_i \, .$$

Таблица 6.3

Плотность некоторых материалов элементов пуль

Материал	Плотность $\gamma \cdot 10^3$ кг/м^3	Примечание
Плакированная сталь (биметалл)	7,85	Оболочки
Сталь неплакированная (листовая)	7,80	—
Прутковая сталь (Ст.2, Ст.3, У10А, У12А. У12ХА)	7,80	Сердечники обыкновенных и бронебойных пуль
Свинец марок С1…С4	11,34	Сердечники, рубашки
Металлокерамические сплавы (ВК8, ВК15)	14,50	Сердечники бронебойных пуль
Алюминий марок А1, А2	2,65	Рубашки, стаканчики, корпуса пироэлементов
Полимерные материалы	1,40	Рубашки, элементы оболочек
Пиротехнические составы	2,40	Зажигательные и трассирующие элементы

7. Местоположение центра масс пули находят по формуле

$$x_c = \frac{\sum_i M_{\text{э}} \cdot \gamma_{\text{э}}}{m_{\text{п}}},$$

где $M_{\text{э}}$ – статический момент инерции объёма пули; $\gamma_{\text{э}}$ – плотность материала элемента.

8. Аналогично вычисляют осевой момент инерции: определяют объёмные моменты инерции для каждой фигуры по наружному и внутреннему контурам. Их разность составляет момент инерции объёма фигуры A_i.

Для элемента пули в целом

$$A_{\text{э}} = \sum_{i-1}^{n} A_i \, .$$

Момент инерции массы пули определяют как сумму моментов инерции элементов:

$$J_A = \sum A_{\text{э}} \cdot \gamma_{\text{э}} \, .$$

9. С учётом плотности материалов элементов пули определяют экваториальный момент инерции:

$$J_B = \sum B_э \cdot \gamma_э .$$

М.С. Шерешевский предложил упрощённый метод расчёта динамических характеристик оболочечных пуль традиционной конструкции:

– масса пули

$$m_п = K_1 \cdot d_п^2 \cdot l_п \left(1 - \frac{h_1}{l_п} \cdot 0{,}5 \right); \qquad (6.30)$$

– местоположение центра масс пули относительно нижнего основания

$$x_п = K_2 l_п \frac{1 - h_1 / l_п \left(1 - 0{,}375 h_1 / l_п\right)}{2 - h_1 / l_п}; \qquad (6.31)$$

– осевой момент инерции пули

$$J_A = K_3 d_п^4 l_п \left(1 - 0{,}7 \frac{h_1}{l_п} \right); \qquad (6.32)$$

– экваториальный момент инерции пули

$$J_B = K_4 d_п^4 l_п \left(0{,}125 + 0{,}147 \left(\frac{l_п}{d_п} \right)^2 + \frac{h_1}{l_п} \left(0{,}0875 + 0{,}125 \frac{l_п}{d_п} \right)^2 - 0{,}0375 \left(\frac{h_1}{d_п} \right)^2 \right) \qquad (6.33)$$

где $d_п$ – диаметр ведущей части пули; $l_п$ – длина пули; h_1 – высота головной части пули; K_1, K_2, K_3, K_4 – коэффициенты (табл.6.4).

Таблица 6.4

Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4

Пули	K_1 Н/м^3 (г/см^3)	K_2	K_3 Н·с^2/м^4 (г·с^2/см^4)	K_4 Н·с^2/м^4 (г·с^2/см^4)
1	2	3	4	5
Обыкновенная:				
со свинцовым сердечником	$7{,}9 \cdot 10^4$ (7,9)	1,08	$0{,}100 \cdot 10^6$ $(0{,}100 \cdot 10^{-2})$	$0{,}345 \cdot 10^6$ $(0{,}345 \cdot 10^{-2})$
со стальным сердечником	$6{,}8 \cdot 10^4$ (6,8)		$0{,}089 \cdot 10^6$ $(0{,}089 \cdot 10^{-2})$	$0{,}330 \cdot 10^6$ $(0{,}330 \cdot 10^{-2})$

1	2	3	4	5
Трассирующая	$5{,}6\cdot10^4$ (5,6)	1,20	$0{,}077\cdot10^6$ ($0{,}077\cdot10^{-2}$)	$0{,}287\cdot10^6$ ($0{,}287\cdot10^{-2}$)
Бронебойно-зажигательная	$6{,}0\cdot10^4$ (6,0)	1,02	$0{,}100\cdot10^6$ ($0{,}100\cdot10^{-2}$)	$0{,}285\cdot10^6$ ($0{,}285\cdot10^{-2}$)
Бронебойно-зажигательно-трассирующая	$6{,}5\cdot10^4$ (6,5)	1,07	$0{,}100\cdot10^6$ ($0{,}100\cdot10^{-2}$)	$0{,}236\cdot10^6$ ($0{,}236\cdot10^{-2}$)

В табл. 6.5 приведены диапазоны значений динамических и баллистических характеристик оболочечных пуль к патронам стрелкового оружия.

Таблица 6.5

Динамические и баллистические характеристики пуль к патронам стрелкового оружия

Характеристика	Обозначение	Размерность	Калибр пули d, мм		
			5,0…6,0	7,0…8,0	12,0…13,0
Масса	$m_п$	кг·10^3	3,4…5,0	8,0…13,0	34,0…45,0
Относительное расстояние от центра масс до дна	$x_c/l_п$	–	036…0,43	0,38…0,45	0,40…0,45
Осевой момент инерции	I_A	кг·м^2·10^8	1,20…2,20	5,0…10,0	60,0…70,0
Экваториальный момент инерции	I_B	кг·м^2·10^8	11,0…20,0	50,0…100,0	500,0…600,0
Отношение моментов инерции	I_A/I_B	–	9,0…10,0	6,0…12,0	7,0…10,0
Поперечная нагрузка	$A_{пч}$	кг/дм^2	14,0…20,0	15,0…25,0	25,0…32,0
Коэффициент массы	C_q	кг/дм^2	20,0…21,0	15,0…26,0	25,0…32,0
Баллистический коэффициент	C	м^2/кг	8,0…9,0	3,5…4,5	2,4…3,0
Относительное расстояние между центром сопротивления и центром масс	z	–	1,3…1,6	1,0…1,6	1,1…1,3
Коэффициент гироскопической устойчивости	σ_0	–	0,89…0,90	0,75…0,95	0.80…0,90

Этих вариантов целесообразно придерживаться при разработке новых образцов пуль. Однако окончательное конструктивное оформление пули принимается с учётом режимов стрельбы, скоростных параметров, обеспечивающих высокую эффективность действия.

Стабилизация пули на полёте, её гироскопическая устойчивость будут обеспечены при назначении соответствующего шага нарезов канала ствола (см. разд.3).

6.2. Обеспечение стабилизации на полёте оперённых пуль

Устойчивость оперённых пуль определяется взаимодействием внешних сил и местоположением центров давления корпуса пули и её оперения. Для расчёта координат центра давления пули (снаряда) используется теорема о статических моментах для системы сил, приложенных в центрах давления корпуса пули и оперения. Упрощённая модель для оценки характеристики стабилизации стреловидной оперённой пули может быть представлена следующим образом.

Традиционно стреловидные пули имеют крестовидное оперение в плане (рис. 6.7). Несущая поверхность такой конструкции определяется так: $F_{\text{нес}} = L \cdot d + (D - d)b$. Часть поверхности плана до положения центра тяжести является стабилизирующей поверхностью: $F_{\text{ст}} = l_{\text{ц.т}} \cdot d + (D - d)b$. Поэтому коэффициент стабилизации можно рассчитать как отношение этих площадей:

$$K_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{ст}}}{F_{\text{нес}}} = \frac{l_{\text{ц.т}} \cdot d + (D - d)b}{L \cdot d + (D - d)b}. \qquad (6.34)$$

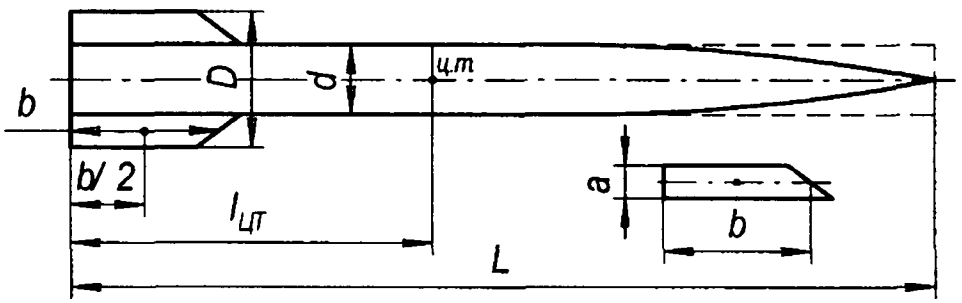


Рис. 6.7. Размеры оперённой пули

Оптимальной стабилизации в широком диапазоне скоростей полёта соответствует коэффициент $K_{ст} = 0{,}60...0{,}65$. Исходя из этих значений определяют размеры оперения стабилизатора. Формула (6.34) не учитывает место расположения оперения по длине пули и его влияние на коэффициент стабилизации. Поэтому в общем случае необходимо сравнивать не площади поверхности, а статические моменты поверхностей относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести, и определять коэффициент стабилизации следующим образом:

$$n_{ст} = \frac{0{,}5l_{ц.т}^2 \cdot d + (D-d)b \cdot \left(l_{ц.т} - \frac{b}{2}\right)}{0{,}5d\left(L - l_{ц.т}^2\right)}. \qquad (6.35)$$

Коэффициент стабилизации в этом выражении больше единицы, превышение единицы и составляет собственно стабилизацию. Оптимальными значениями считается $n_{ст} = 1{,}6...1{,}7$.

Масса и положение центра масс (центра тяжести) определяются обычными способами, рассмотренными в подразд. 6.1. Размах оперения при проектировании назначается порядка $D = 2{,}5d$. Тогда действительная ширина пера $a = 0{,}5(D–d) = 0{,}75d$.

При заданном размахе оперения D, значениях коэффициента стабилизации $n_{ст}$ и известных координат центра масс пули $l_{ц.т}$ по формуле (6.35) можно определить длину оперения b по средней линии. Толщина пера принимается минимально возможной, чтобы снизить баллистический коэффициент пули. В этом случае ограничением являются технологические возможности производства.

6.3. Оценка возможности поперечного разрыва оболочки пули в канале ствола

Надёжность функционирования пуль при стрельбе обеспечивается рациональностью их конструкции, правильным подбором материалов, состоянием оружия, режимами стрельбы и другими факторами. При разработке конструкции патрона рассматривают три задачи, определяющие возможность:

- поперечного разрыва оболочки пули в канале ствола;
- срыва пули с нарезов канала ствола;
- продольного разрыва оболочки (или её выпучивания) по вылете из канала ствола.

В технической литературе рассмотрены эти задачи, однако при их решении не учтены некоторые важнейшие факторы, влияющие на надёжность функционирования пуль: динамика нарастания давления пороховых газов, параметры условий заряжания, механическая суть процесса врезания пуль в нарезы канала ствола, когда реализуются пластические и прочностные свойства материалов элементов пули, некоторые её конструктивные особенности.

При стрельбе из боевого оружия бывают случаи поперечного разрыва оболочки пули при движении её внутри канала ствола. Сердечник с головной частью оболочки вылетает отдельно, а корпус пули остаётся в стволе. Следовательно, оружие выходит из строя.

Известны также случаи преждевременного срабатывания в стволе крупнокалиберных пуль мгновенного действия (МДЗ) в результате осевого смещения пироэлементов внутри оболочки под действием давления пороховых газов, действующего через отверстие в хвостовой части пули (рис. 6.8). Такое смещение может привести к деформации или разрушению наконечника *8* под действием рубящей трубки *7*, следствием чего является срабатывание капсюля-детонатора *6* и подрыв ВВ *4* в пиростакане *3*. Поэтому следует считать, что разрыв оболочки в пулях со стальным сердечником является результатом прежде всего осевого смещения элементов под действием давления пороховых газов через отверстие в хвостовой части при врезании пули в нарезы канала ствола.

Для построения расчётной модели примем следующие допущения:

– разрыв оболочки внутри канала ствола возможен в первый пиродинамический период выстрела, в момент наиболее интенсивного нарастания давления пороховых газов;

– разрыв оболочки возможен только при осевом смещении внутренних элементов пули;

– место вероятного разрушения оболочки соответствует сечению сопряжения цилиндрической и радиусной частей пули;

– рассматривается единичный выстрел, колебаниями ствола пренебрегают;

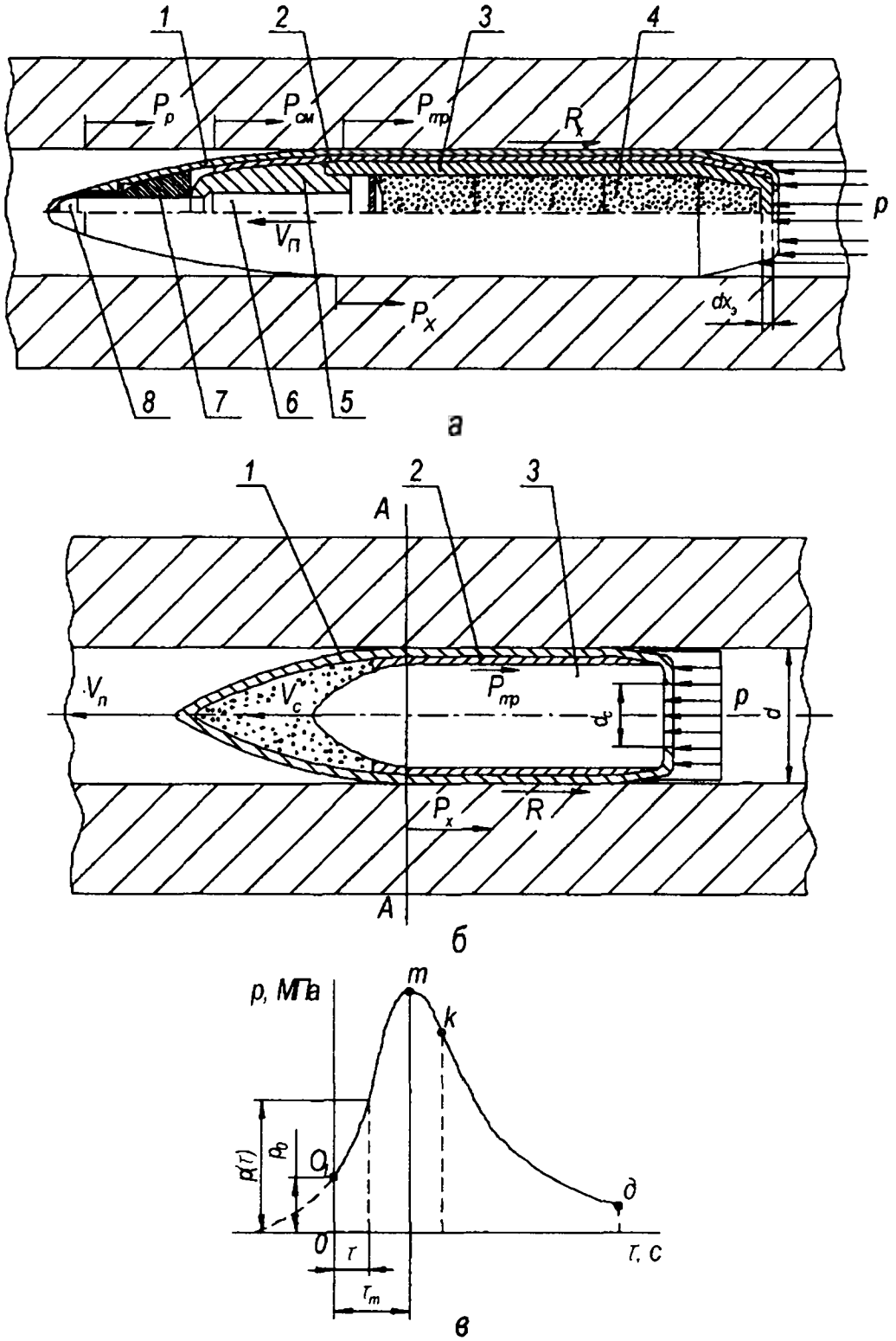


Рис. 6.8. Схема действия сил на элементы пули на этапе форсирования: *а* – пуля МДЗ: *б* – пуля бронебойно-зажигательная: *в* – изменения давления пороховых газов

– усилие врезания пули в нарезы канала ствола R_x есть величина постоянная, не зависящая от времени выстрела;

– сила трения по поверхности контакта сердечника и свинцовой рубашки также постоянна и не зависит от времени выстрела.

На рис. 6.8, *а*, *б* показаны схемы взаимодействия сил на этапе форсирования, когда на пулю и её элементы действуют максимальные перегрузки. Можно предположить, что смещение элементов пули (сердечника или пиростакана) внутри оболочки по поверхности свинцовой рубашки 2 происходит в первый пиродинамический период (рис. 6.8, *в*), когда давление пороховых газов нарастает с наибольшей интенсивностью и может быть описано степенным законом:

$$p = p_0 \cdot e^{\tau/\tau_m}, \qquad (6.36)$$

где p_0 – давление форсирования; τ_m – время от момента форсирования до момента достижения пороховыми газами максимального давления p_m. По принятой аппроксимации максимальное давление превосходит давление форсирования примерно в 2,7 раза.

Рассматриваемая модель построена для оценки смещения сердечника при врезании пули в нарезы канала ствола и последующего возможного разрушения оболочки (демонтажа пули) по сечению сопряжения головной и ведущей части пули (сеч. А-А). Уравнение поступательного движения сердечника относительно ствола (для единичного выстрела, без учёта колебаний ствола) запишется в виде

$$m_c \frac{dV}{d\tau} = p \cdot F_c - P_{тр}. \qquad (6.37)$$

где m_c – масса сердечника; $F_c = \pi d_c^2 / 4$ – площадь отверстия (очка) в хвостовой части пули; $P_{тр}$ – сила трения, действующая по поверхности контакта сердечника и рубашки; V – скорость сердечника относительно ствола.

С учётом движения пули и степенного закона нарастания давления (6.36) уравнение (6.37) примет вид

$$m_c \frac{d(V_c + V_п)}{d\tau} = p_0 \cdot e^{\frac{\tau}{\tau_m}} \cdot F_c - P_{тр}, \qquad (6.38)$$

где V_c – скорость сердечника относительно пули; $V_п$ – скорость пули относительно ствола.

Представим уравнение (6.36) в следующем виде:

$$\frac{dV_c}{d\tau} = p_0 \cdot e^{\frac{\tau}{\tau_m}} \cdot \frac{F_c}{m_c} - \frac{P_{тр}}{m_c} - \frac{dV_п}{d\tau}. \qquad (6.39)$$

Ускорение пули $\frac{dV_п}{d\tau}$ определим из уравнения её поступательного движения по каналу ствола с учётом принятого закона нарастания давления пороховых газов:

$$\varphi m_п \frac{dV_п}{d\tau} = p_0 \cdot e^{\tau/\tau_m} \cdot F_п - R_x, \qquad (6.40)$$

где $m_п$ – масса пули; φ – коэффициент фиктивности массы пули; $F_п$ – площадь поперечного сечения пули; $R_д$ – усилие врезания пули в нарезы канала ствола.

Подставим значения $\frac{dV_п}{d\tau}$ из выражения (6.40) в уравнение (6.39):

$$\frac{dV_c}{d\tau} = p_0 \cdot e^{\tau/\tau_m} \cdot \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) - \frac{P_{тр}}{m_c} + \frac{R_x}{\varphi m_п}. \qquad (6.41)$$

По характеру изменения усилия врезания пули в нарезы канала ствола (рис. 6.9) видно, что оно не зависит от времени (пути перемещения). Можно предположить также, что поскольку поверхность трения и предел прочности свинца постоянны, то сила трения, удерживающая сердечник от смещения по поверхности рубашки, также постоянна и не зависит от времени выстрела. Тогда после интегрирования уравнения получим

$$V_c = \tau_m \cdot p_0 \cdot e^{\tau/\tau_m} \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) - \left(\frac{P_{тр}}{m_c} - \frac{R_x}{\varphi m_п} \right) \cdot \tau + C_1, \qquad (6.42)$$

$$x_c = \tau_m^2 \cdot p_0 \cdot e^{\tau/\tau_m} \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) - 0{,}5 \left(\frac{P_{тр}}{m_c} - \frac{R_x}{\varphi m_п} \right) \cdot \tau + C_1 \cdot \tau + C_2. \qquad (6.43)$$

До начала момента форсирования скорость V_c и возможное перемещение сердечника x_c равны нулю, т.е. при $\tau = 0$ $V_c = 0$, $x_c = 0$.

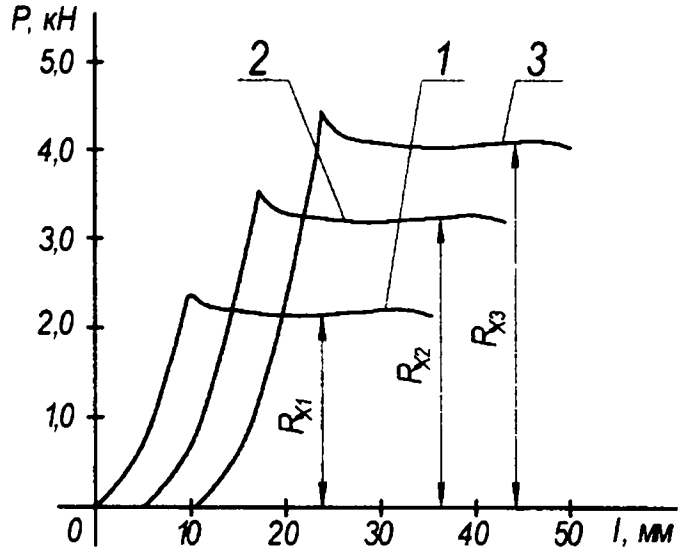


Рис. 6.9. Характер изменения усилия врезания пули клб. 14,5 мм в нарезы канала ствола с различной твердостью ведущей части: кривая *1* – *HV* 120; кривая *2* – *HV* 150; кривая *3* – *HV* 180

Следовательно,

$$C_1 = -\tau_m \cdot p_0 \cdot \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right);$$

$$C_2 = -\tau_m^2 \cdot p_0 \cdot \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right).$$

После подстановки постоянных интегрирования C_1 и C_2 в выражения (6.42) и (6.43) получим математическую зависимость для определения возможного смещения сердечника внутри пули на этапе действия максимальных перегрузок в первый пиродинамический период выстрела:

$$V_c = \tau_m \cdot p_0 \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) \cdot \left(e^{\tau/\tau_m} - 1 \right) - \left(\frac{P_{тр}}{m_c} - \frac{R_x}{\varphi m_п} \right) \cdot \tau, \qquad (6.44)$$

$$x_c = \tau_m \cdot p_0 \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) \cdot \left(\tau_m e^{\tau/\tau_m} - \tau_m - \tau \right) - \left(\frac{P_{тр}}{m_c} - \frac{R_x}{\varphi m_п} \right) \cdot \frac{\tau^2}{2}. \qquad (6.45)$$

Анализ зависимостей (6.44), (6.45) показывает, что основное влияние на возможное смещение сердечника или других элементов пули, например пиростакана в пуле МДЗ, оказывают размеры отверстия хвостовой части, интенсивность нарастания и величина

максимального давления пороховых газов, плотность монтажа элементов пули и надёжность их закрепления, усилие врезания пули в нарезы канала ствола. Применение "острого" пороха с минимальным параметром τ_m, уменьшение диаметра отверстия, наличие шероховатой поверхности на сердечнике или накатки на пиростакане, сравнительно небольшое усилие врезания пули в нарезы за счёт меньшей толщины стенки и невысокой твёрдости оболочки снижают вероятность смещения сердечника или пиростакана внутри пули и исключают возможность демонтажа её внутри ствола. Как уже указывалось, внутренняя подвижка узла (пиростакан, капсюль-детонатор, рубящая трубка) в пуле МДЗ может привести к разрушению наконечника и срабатыванию капсюля-детонатора от воздушного потока и осколков или других частей элементов оболочки.

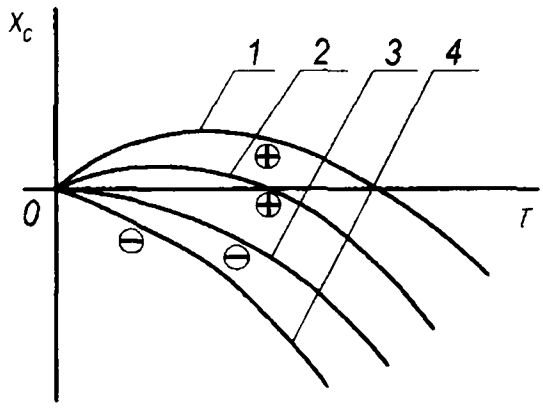


Рис. 6.10. Характер изменения функции возможного смещения элементов пули $x_c(\tau)$: *1*, *2* – с участками положительного ("плюс") смещения; *3*, *4* – без смещения ("минус")

На рис. 6.10 показана графическая зависимость изменения возможного смещения x_c для различных условий заряжания, рассчитанная по формуле (6.45) в первый породинамический период. При большом отверстии в хвостовой части и применении гладкой поверхности сердечника ($f_{тр}$= = 0,15...0,18) возможно смещение сердечник внутри пули (положительные значения функции). Такие условия заряжания недопустимы.

Для того чтобы установить зависимость, определяющую прочность оболочки в случае положительного значения функции (6.45), исследуем её на экстремум. При этом будем считать, что при наличии положительного смещения сердечника единственным фактором, сдерживающим его дальнейшее продвижение, является прочность оболочки, т.е. в уравнениях (6.44) и (6.45) величину $P_{тр}$ заменим на $P_{тр} + P_0 = \sigma_x \cdot F_0 + P_{тр}$, где σ_x – осевое напряжение, действующее в стенке оболочки в сечении сопряжения

ведущей и головной частей пули; $F_0 = \pi \cdot d_{ср} \cdot S_0$ – площадь поперечного сечения оболочки:

$$\frac{dx_c}{d\tau} = \tau_m p_0 \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) \cdot \left(e^{\tau/\tau_m} - 1 \right) - \frac{P_{тр} \cdot \sigma_л \cdot F_0}{m_c} \tau + \frac{R_x}{\varphi m_п} \cdot \tau = 0. \quad (6.46)$$

Из (6.46) устанавливаем зависимость, определяющую величину напряжения σ_x, действующего в опасном сечении оболочки при наличии положительного смещения сердечника:

$$\sigma_x = \left[\frac{\tau_m \cdot p_0}{\tau} \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) \left(e^{\tau/\tau_m} - 1 \right) - \frac{P_{тр}}{m_c} + \frac{R_x}{\varphi m_п} \right] \frac{m_c}{F_0}. \quad (6.47)$$

Можно предположить, что при таких условиях стрельбы, когда возможно осевое смещение сердечника, растягивающие напряжения σ_x будут достигать наибольшего значения в момент действия максимального давления пороховых газов, т.е. при $\tau=\tau_m$. Тогда

$$\sigma_{x\max} = \left[\left(p_m - p_0 \right) \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) - \frac{P_{тр}}{m_c} + \frac{R_x}{\varphi m_п} \right] \frac{m_c}{F_0} \quad (6.48)$$

или

$$\sigma_{x\max} = \left[0{,}63 p_m \left(\frac{F_c}{m_c} - \frac{F_п}{\varphi m_п} \right) \left(e^{\frac{\tau}{\tau_m}} - 1 \right) - \frac{P_{тр}}{m_c} + \frac{R_x}{\varphi m_п} \right] \frac{m_c}{F_0}, \quad (6.49)$$

$$\sigma_{x\max} = 0{,}63 p_m \cdot \frac{F_c}{F_0} \left(1 - \frac{F_п}{F_c} \cdot \varphi_m \right) - \frac{P_{тр} - R_x}{F_0}, \quad (6.50)$$

где $\varphi_m = \dfrac{m_c}{\varphi m_п}$.

Условие прочности оболочки

$$\sigma_{x\max} < [\sigma] = \sigma_в, \quad (6.51)$$

т.е. осевое растягивающее напряжение $\sigma_{x\max}$ не должно превышать допустимое, которое может быть принято равным пределу прочности материала оболочки с учётом наклёпа ведущей части (твёрдость ведущей части оболочки, как правило, задана чертежом).

Расчёт $\sigma_{x\,max}$ следует проводить только в случае, когда установлено положительное значение функции $x_c = x_c(\tau)$ по зависимости (6.43). Если такого смещения нет, то поперечная прочность оболочки обеспечена.

В формуле (6.50) усилие трения $P_{тр}$ определяют как

$$P_{тр} = \pi \cdot d_c \cdot h_2 \cdot f_{тр} \cdot (\sigma_в)_{рб}, \qquad (6.52)$$

где d_c – диаметр цилиндрической части сердечника (пиростакана); $(\sigma_в)_{рб}$ – предел прочности материала рубашки; $f_{тр}$=0,18...0,20 – коэффициент трения стали по свинцу; h_2 – высота ведущей части пули.

В случае грубой шероховатой поверхности или при наличии на поверхности пироэлементов специального рифления, накатки или поперечных канавок сила, препятствующая его смещению, равна:

$$P_{тр} = \pi \cdot d_c \cdot h_2 \tau_{max}, \qquad (6.53)$$

где $\tau_{max} = 0{,}5(\sigma_в)_{рб}$.

Усилие врезания пули в нарезы канала ствола R_x ориентировочно для стационарного этапа (см. рис. 6.9) может быть рассчитано по зависимости, предложенной в работе [3]. Однако для практических расчётов использование её затруднительно из-за неопределённости величины удельного давления поля нарезов на оболочку:

$$R_x = d \cdot h_2 \cdot p_x \cdot f_{тр}, \qquad (6.54)$$

где p_x – удельное давление поля нарезов на оболочку. Поэтому необходимо проанализировать процесс врезания пули в нарезы канала ствола с целью получения аналитической зависимости величины R_x от основных сопутствующих факторов.

С целью предотвращения разрыва пули внутри канала ствола необходимо:

– уменьшить диаметр отверстия хвостовой части пули или применять конструкцию с закрытой хвостовой частью;

– обеспечить надёжное крепление элементов внутри пули за счёт накатки поперечных канавок, увеличения шероховатости или применения специального рифления на поверхности элементов;

– снизить усилие врезания пули в нарезы канала ствола R_x, например, за счёт уменьшения толщины и твёрдости стенки обо-

лочки (недопустимо загрязнение канала ствола);

– повысить прочность оболочки в опасном сечении, где сопрягаются радиусная и цилиндрическая её части;

– применять, по возможности, более "острые" марки порохов с минимальным параметром заряжания τ_m.

6.4. Расчёт пуль на срыв с нарезов канала ствола

В практике эксплуатации стрелкового оружия иногда наблюдаются случаи срыва пули с нарезов, вследствие чего они не получают достаточной скорости вращения для обеспечения устойчивого полёта, кувыркаются на траектории, значительно рассеиваясь, и обычно не долетают до цели. Причиной этого, как правило, являются значительный износ и загрязнение ствола, его тепловое расширение при темповой стрельбе, глубокое охлаждение боеприпасов. Замечено также, что увеличение толщины стенки оболочки и твёрдости её ведущей части также способствует срыву. Схема взаимодействия ведущего устройства пули с боевой гранью нареза и действующие силы показаны на рис. 6.11.

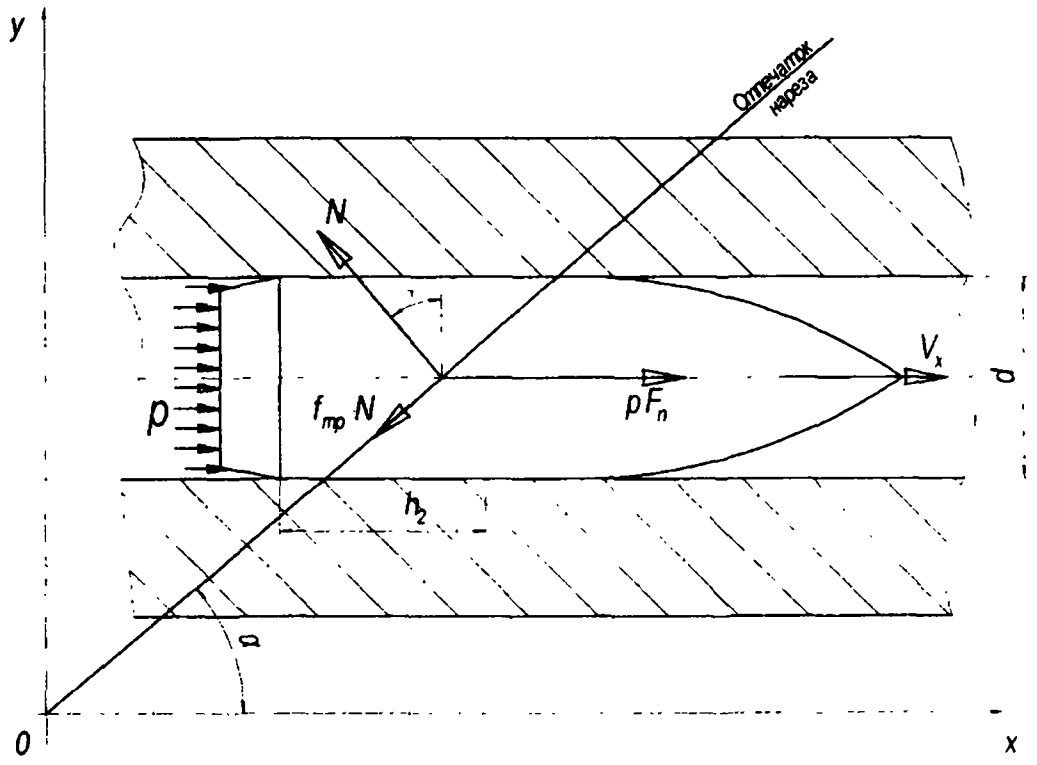


Рис. 6.11. Схема действия сил на ведущую часть пули внутри канала ствола

Условие прочности ведущего устройства и невозможности срыва пули с нарезов имеет вид

$$\sigma_{ср} < [\sigma], \tag{6.55}$$

где $\sigma_{ср} = \dfrac{N}{F_н}$ – напряжение среза; [σ] – допустимое напряжение; $F_н$ – площадь контакта боевых граней нарезов с ведущим устройством пули; N – суммарная сила давления боевых граней нарезов на ведущее устройство.

Сила N может быть найдена из уравнения вращательного движения пули в стволе:

$$J_A \frac{d\omega}{d\tau} = N \cdot \frac{d}{2}\left(\cos\alpha - f_{тр} \cdot \sin\alpha\right), \tag{6.56}$$

где J_A – осевой момент инерции; ω – угловая скорость вращения пули; α – угол наклона нарезов относительно оси симметрии ствола.

Выразим угловую скорость через известные параметры:

$$\omega = \frac{2}{d} \cdot \frac{dy}{d\tau} = \frac{2}{d} \cdot \frac{dy}{d\tau} \cdot \left(\frac{dx}{\underset{=1}{dx}} \right) = \frac{2}{d} \cdot V_x \cdot \mathrm{tg}\alpha\,. \tag{6.57}$$

Для нарезов прогрессивной крутизны

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \frac{2}{d} \cdot \left(\frac{dV_x}{d\tau} \cdot \mathrm{tg}\alpha + V_x \cdot \frac{d(\mathrm{tg}\alpha)}{d\tau} \cdot \left(\frac{dx}{\underset{=1}{dx}} \right) \right). \tag{6.58}$$

С учётом закона изменения крутизны нарезов

$$Y = Kx^2\,, \tag{6.59}$$

$$\frac{d\mathrm{tg}\alpha}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = 2K = K_\alpha \tag{6.60}$$

выражение (6.58) принимает вид

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \frac{2}{d}\left(\frac{dV_x}{d\tau} \cdot \mathrm{tg}\alpha + K_\alpha \cdot V_x^2 \right). \tag{6.61}$$

Используя уравнение поступательного движения пули в стволе

$$\varphi \cdot m_{\text{п}} \cdot \frac{dV_x}{d\tau} = p \cdot F_{\text{п}} . \qquad (6.62)$$

получаем

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \frac{2}{d}\left(\frac{p \cdot F \cdot \text{tg}\alpha}{\varphi m_n} + K_\alpha \cdot V_x^2 \right). \qquad (6.63)$$

С учётом этих соотношений из уравнения (6.56) находим силу

$$N = \mu \frac{p \cdot F_{\text{п}} \cdot \text{tg}\alpha + K_\alpha \cdot \varphi \cdot m_{\text{п}} \cdot V_x^2}{\varphi\left(\cos\alpha - f_{\text{тр}} \cdot \sin\alpha\right)}, \qquad (6.64)$$

где $\mu = \frac{4\varphi_A}{m_{\text{п}} d^2}$ – коэффициент инерции пули (μ=0,50 – для сплошных пуль; μ=0,48 – для свинцовооболочечных; μ=0,56 – для бронебойных пуль; μ=0,64…0,68 – для зажигательных, МДЗ и др.).

Как правило, угол нарезов α=5°…7° и для образцов стрелковых боеприпасов коэффициент фиктивности массы φ=1,12…1,20, поэтому без большой погрешности $\varphi(\cos\alpha - f_{\text{тр}}\sin\alpha)=1$ и выражение (6.64) принимает более простой вид;

– для нарезов прогрессивной крутизны

$$N = \mu\left(p \cdot F_{\text{п}} \cdot \text{tg}\alpha + \varphi \cdot K_\alpha \cdot m_{\text{п}} \cdot V_x^2\right), \qquad (6.65)$$

– для нарезов постоянной крутизны

$$N = \mu \cdot p \cdot F_{\text{п}} \cdot \text{tg}\alpha . \qquad (6.66)$$

Сила N заставляет вращаться пулю вокруг собственной оси, придавая ей тем самым устойчивость на полёте. Однако эта сила может быть так велика, что будет способна смять выступы на ведущей части пули. Не получив вращательного движения, пуля становится неустойчивой на полёте. Величина максимальных напряжений, действующих со стороны боевой грани нарезов на выступы ведущей части пули, с учётом количества нарезов, протяжённости контакта, износа и тепловой деформации ствола, возможного охлаждения боеприпасов перед стрельбой может быть рассчитана по формуле

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{N \cdot \cos\alpha}{n \cdot h_2\left(\delta_0 - П_{\text{и}} - \Delta_{\text{ств}} - \Delta_{\text{б/п}}\right)}, \qquad (6.67)$$

где n – количество нарезов; h_2 – длина ведущей части пули; δ_0 –

глубина нарезов; $П_и$ – величина допустимого износа канала ствола; $\Delta_{ств} = \alpha_л \cdot \frac{d}{2} \cdot T^{o}_{ств}C$ – абсолютная тепловая деформация ствола: $\Delta_{б/п} = \alpha_л \cdot \frac{d}{2} \cdot \left| - T^{o}_{б/п}C \right|$ – абсолютная тепловая деформация боеприпасов, охлаждённых перед стрельбой; $\alpha_л$ – коэффициент линейного расширения материала ствола (оболочки); $T^{o}_{ств}C$ – температура разогрева ствола при стрельбе; $T^{o}_{б/п}C$ – температура охлаждения боеприпасов перед стрельбой.

Увеличение толщины оболочки, а также твёрдости её ведущей части может стать причиной срыва пули с нарезов. Объяснить это можно следующим образом. При врезании пули в нарезы канала ствола осуществляется пластическая деформация внедрения выступов нарезов в оболочку с образованием очага пластической деформации, охватывающего свинцовую рубашку (рис. 6.12). На это затрачивается часть работы пороховых газов:

$$A_{пл} = \left[(\sigma_i \cdot \varepsilon_i)_{об} \cdot S_0 + (\sigma_i \cdot \varepsilon_i)_{рб} \cdot S_{рб} \right] \cdot D \cdot h_2 \cdot n. \qquad (6.68)$$

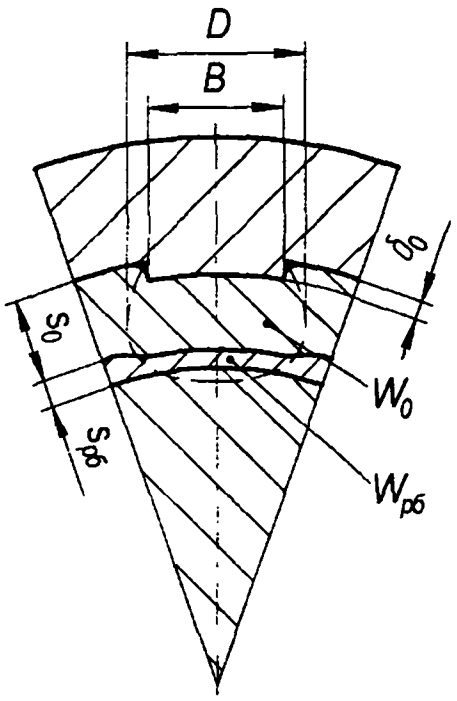


Рис. 6.12. Схема образования очага пластической деформации при врезании пули в нарезы канала ствола

Как следует из (6.68), увеличение толщины оболочки не изменит суммарный размер (S_o+$S_{рб}$)=const и приведёт к росту потребной работы пластической деформации при врезании. Соответствующее уменьшение толщины рубашки неадекватно, так как $(\sigma_i)_{рб} << (\sigma_i)_{об}$. Сравним $(\sigma_в)_{об}$= =380...400 МПа, $(\sigma_в)_{рб}$=20...22 МПа. В процессе выстрела автоматически будет возрастать давление пороховых газов, что вызовет рост напряжений со стороны боевой грани на выступ ведущей части оболочки и может привести к срыву.

Увеличение твёрдости стенки оболочки также ведёт к возрастанию работы пластической деформации и практически не влияет на прочность выступа ведущей части оболочки, так

как поверхностный слой – это рыхлое фосфатное покрытие или мягкий, податливый томпак.

Увеличение толщины стенки оболочки и её твёрдости можно учесть в формуле (6.67) специальным коэффициентом

$$\sigma_{ср} = \frac{K_s \cdot N \cdot \cos\alpha}{n \cdot h_2 \cdot (\delta_0 - П_и - \Delta_{ств} - \Delta_{б/п})}, \qquad (6.69)$$

где $K_s = \dfrac{(A_{пл})_s}{(A_{пл})_{эт}} = \dfrac{(P_{вр})_s}{(P_{вр})_{эт}}$.

Усилие врезания $(P_{вр})_s$ для пуль с оболочками, имеющими различную толщину стенки и твёрдость, устанавливали экспериментально статическим испытанием на проталкивание через часть ствола пулемёта КПВТ клб. 14,5 мм. При этом эталонное значение усилия определялось для пуль Б-32 с S_0=0,82 мм, HV 120 (табл. 6.6, рис. 6.9). Толщина стенки оболочки варьировалось за счёт изменения диаметра матриц на финишных операциях вытяжки. Пули с S_0=1,05...1,15 мм изготавливались без подгибки и закатки.

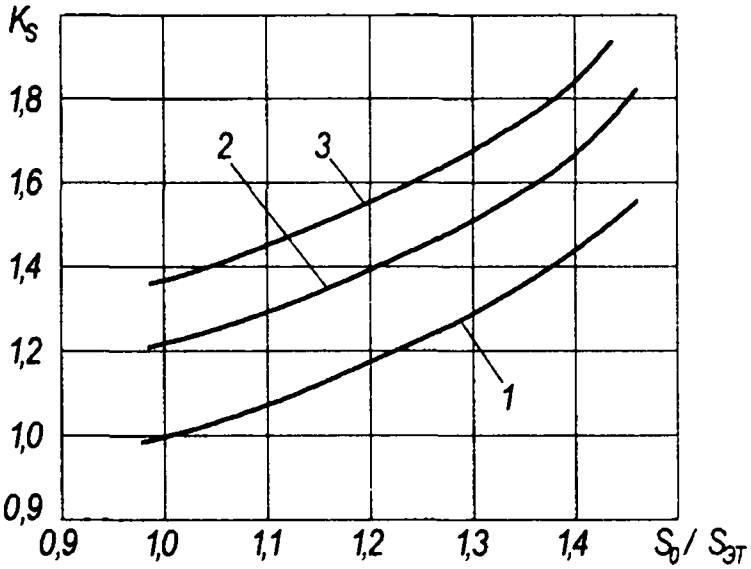


Рис. 6.13. Зависимость коэффициента K_S от толщины ведущей части оболочки и её твердости: кривая *1* – *HV* 120; кривая *2* – *HV* 150; кривая *3* – *HV* 180

На рис. 6.13 показана закономерность изменения коэффициента K_s от относительной толщины стенки оболочки $S_0/S_{эт}$ и её твёрдости. Видно, что даже в пределах допуска на толщину и

твёрдость напряжения смятия могут изменяться в пределах 15...25% и создать критические условия стрельбы, что повысит вероятность срыва пуль с нарезов.

Таблица 6.6

Испытание пуль Б-32 на проталкивание через казённую часть ствола Обрез КПВТ d=14,5 мм. Сталь 11ЮА

№ обр.	$P_{вр}$, кгс	S_0, мм	HV 20 кг	№ обр.	$P_{вр}$, кгс	S_0, мм	HV 20 кг
1	2900	0.83	118	31	3800	0,93	152
2	2950	0.84	116	32	3700	0.93	150
3	3000	0,82	120	33	3900	1.00	150
4	3150	0,85	120	34	4200	1,00	150
5	3100	0.83	119	35	4200	1,03	149
6	3400	0,87	120	36	4300	1.05	150
7	2850	0,82	120	37	3800	0,95	152
8	3450	0,90	119	38	4400	1,08	450
9	3300	0,88	120	39	4500	1,10	147
10	3050	0,84	120	40	4700	1.10	150
11	3100	0.88	118	41	4600	1.14	149
12	3000	0,89	120	42	4800	1.14	152
13	3100	0.92	117	43	4800	1.15	150
14	3200	0,94	120	44	3800	0,82	174
15	3400	0,97	116	45	4000	0,82	176
16	3200	0,95	122	46	4400	0,82	180
17	3300	1,00	118	47	4000	0,83	180
18	3500	1.00	122	48	4000	0,8(	184
19	3400	1,01	120	49	4100	0,86	180
20	3500	1,05	118	50	4100	0,90	182
21	3700	1.10	120	51	4200	0,90	180
22	4200	1.14	122	52	4200	0,94	182
23	4300	1.18	120	53	4300	0,95	180
24	4400	1.18	118	54	4500	1.00	180
25	4000	1.15	122	55	4700	1.05	178
26	4400	1.16	120	56	4900	1.05	178
27	3600	0.82	146	57	5000	1,10	180
28	3500	0.85	150	58	5300	1.13	176
29	3600	0.87	153	59	5300	1,13	180
30	3700	0.90	148	60	5200	1.14	182

Пример 6.1. Оценить возможность срыва с нарезов канала ствола при стрельбе очередями из крупнокалиберного 14,5-мм пулемёта Владимирова КПВТ пулями Б-32, имеющими максимальную по чертежу толщину ведущей части оболочки

S_0=0,95$_{-0,13}$ мм, h_2=16,5 мм. Максимальный разогрев ствола 150°С. патроны перед стрельбой охлаждены до −50°С. Ствол изношен ($П_и$=0,05 мм), имеет первоначальную глубину нарезов δ_0=0,23 мм. количество нарезов n=8.

Решение. По формуле (6.66) определяем силу N, действующую со стороны боевых граней нарезов на ведущую часть пули для придания её вращательного движения:

$$N = 0{,}56 \cdot 320 \cdot 10^6 \frac{3{,}14 \cdot 14{,}5^2 \cdot 10^{-6}}{4} \cdot 0{,}1 = 2598 \text{ Н}.$$

Абсолютная тепловая деформация ствола при стрельбе очередями составит:

$$\Delta_{\text{ств}} = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{14{,}5}{2} \cdot 150 = 0{,}013 \text{ мм}.$$

Абсолютная тепловая деформация пули в радиальном направлении при охлаждении до −50°С

$$\Delta_{\text{б/п}} = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{14{,}5}{2} \cdot |-50| = 0{,}004 \text{ мм}.$$

Напряжение среза, действующее со стороны боевой грани нарезов на выступ ведущей части пули, определяется по формуле (6.67). Коэффициент K_s=1,1 (см. рис.6.13):

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{2958 \cdot 0{,}98 \cdot 1{,}1}{8 \cdot 16{,}5(0.23 - 0{,}05 - 0{,}013 - 0{,}004) \cdot 10^{-6}} = 148 \text{ МПа}.$$

Предел прочности стали 11КП, из которой изготавливают оболочки к пулям клб.14,5 мм, составляет $\sigma_в$=360 МПа. Обычно допускаемое напряжение на срез принимают равным: $[\sigma]=0{,}8 \cdot \sigma_в=360 \cdot 0{,}8=288$ МПа. Следовательно, условие прочности (6.55) выполняется и невозможность срыва пули с нарезов канала ствола обеспечена.

6.5. Расчет пуль на демонтаж по вылете из канала ствола

По вылете из канала ствола пуля обретает значительную скорость вращения. В результате этого в оболочке и свинцовой ру-

башке действуют центробежные силы инерции. Из-за большой плотности свинца и небольшого сопротивления его разрыву давление свинцовой рубашки на оболочку может быть значительным. Существенным является тот факт, что при наличии разностенности наибольшая часть свинца при монтаже сосредоточивается в зоне минимальной толщины оболочки. В канале ствола центробежные силы уравновешиваются реакцией ствола. При полёте по траектории эти силы вызывают в оболочке действие тангенциальных растягивающих напряжений, которые при определённых условиях могут привести к сильной деформации или нарушению прочности оболочки, к дестабилизации устойчивого полёта по траектории.

Условие продольной прочности оболочки по вылете пули из канала ствола (именно в этот момент действуют максимальные центробежные силы) имеет традиционный вид:

$$\sigma_\theta < [\sigma] = 0{,}7...0{,}8\sigma_в , \qquad (6.70)$$

где σ_θ – тангенциальное растягивающее напряжение, действующее в стенке ведущей части оболочки; $\sigma_в$ – предел прочности материала.

Для определения σ_θ условно рассечём пулю поперечной плоскостью и рассмотрим взаимодействие сил, действующих на вращающуюся оболочку (рис. 6.14). Равнодействующая центробежных сил уравновешивается силами P_o. Принимаем, что оболочка тонкостенная, т.е. радиус срединной поверхности равен наружному радиусу $R_{ср} = d/2$.

Элементарная сила, спроецированная на ось OY, равна:

$$dP_o = \frac{V_y^2}{R_{ср}} \cdot dm_o \cdot \cos\theta , \qquad (6.71)$$

где V_y – окружная (касательная) скорость; θ – угол, координирующий рассматриваемое сечение оболочки ($0 \le \theta \le \pi/2$); dm_o – элементарная масса оболочки;

$$dm_0 = h_2 \cdot S_0 \cdot \gamma_0 \cdot dl = h_2 \cdot S_0 \cdot \gamma_0 \cdot \frac{d}{2} \cdot d\theta , \qquad (6.72)$$

где h_2 – длина ведущей части пули; γ_0 – плотность материала оболочки.

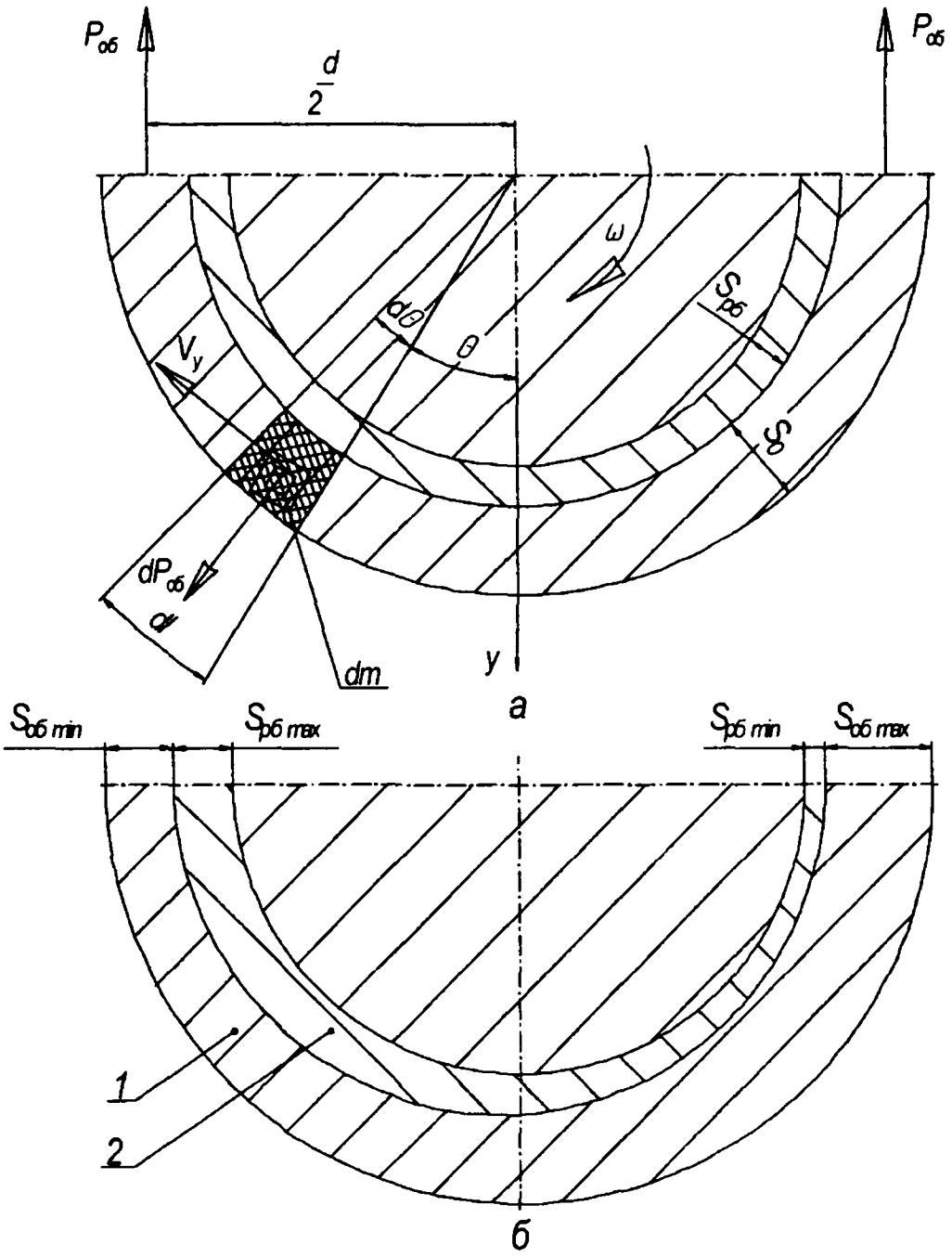


Рис. 6.14. Схема действия сил в поперечном сечении вращающейся пули (*а*), характер распределения толщины стенки оболочки и свинцовой рубашки (*б*): *1* – оболочка; *2* – рубашка

Касательная скорость вращающейся пули связана с поступательной в момент вылета:

$$V_y = \omega \cdot \frac{d}{2} = V_0 \cdot \mathrm{tg}\alpha\,. \qquad (6.73)$$

Выражение (6.71) может быть преобразовано к виду

$$dP_o = (V_0 \cdot \mathrm{tg}\alpha)^2 \cdot h_2 \cdot S_o \cdot \gamma_o \cdot \cos\theta \cdot d\theta\,. \qquad (6.74)$$

Интегрируем (6.74) в пределах ($0 \le \theta \le \pi/2$):

$$P_o = \int_0^{\pi/2} (V_0 \cdot \mathrm{tg}\alpha)^2 \cdot h_2 \cdot S_o \cdot \gamma_o \cdot \cos\theta \cdot d\theta\,. \qquad (6.75)$$

С учётом разностенности наиболее вероятным местом разрыва оболочки является меридиональное сечение её ведущей части с минимальной толщиной стенки $S_{min}=S_0-\Delta S$:

$$P_o = (V_0 \cdot \mathrm{tg}\alpha)^2 \cdot h_2 \cdot (S_0 - \Delta S) \cdot \gamma_o\,. \qquad (6.76)$$

На свинцовую рубашку также действует центробежная сила. Однако при сборке пули в сечение с минимальной толщиной стенки оболочки смещается часть свинца рубашки, обеспечивая плотность монтажа элементов (рис. 6.14, *б*). Толщина свинцовой рубашки в этом месте максимальна $S_{рб.\,max}=S_{рб}+\Delta S$. Поэтому по аналогии с оболочкой можно записать:

$$P_{рб} = (V_0 \cdot \mathrm{tg}\alpha)^2 \cdot h_2 \cdot (S_{рб} + \Delta S) \cdot \gamma_{рб}\,. \qquad (6.77)$$

Центробежная сила от свинцовой рубашки полностью воздействовала бы на оболочку, если бы этому не препятствовала её прочность. Прочность рубашки при вращении будет определяться наиболее слабым сечением, где $S_{рб.\,min}=S_{рб}-\Delta S$:

$$R_{рб}=h_2(S_{рб}-\Delta S)(\sigma_в)_{рб}. \qquad (6.78)$$

С учётом сказанного тангенциальное напряжение σ_θ будет определяться выражением

$$\sigma_\theta = \frac{P_o + P_{рб} - R_{рб}}{h_2(S_0 - \Delta S - \delta_0)}, \qquad (6.79)$$

где δ_0 – глубина нарезов канала ствола; ΔS – допуск на толщину стенки ведущей части оболочки.

Наличие разностенности в оболочке создаёт эксцентриситет при вращении пули вокруг оси симметрии, локализует центро-

бежные нагрузки в зоне наименьшей толщины, увеличивает траекторию дополнительного вращательного движения, что способствует большому рассеиванию пуль.

Пример 6.2. Оценить возможность демонтажа пули Б-32 клб.14,5 мм при стрельбе из пулемёта Владимирова КПВТ с неизношенным стволом при условии максимальной разностенности у оболочки: S_0=0,95–0,13 мм, V_0=1000 м/с, h_2=16,5 мм, $\alpha=6^\circ$, δ_0=0,23 мм, γ_0=7850 кг/м^3, $\gamma_{рб}$=11400 кг/м^3, $(\sigma_в)_{рб}$=20 МПа.

Решение. По формулам (6.76), (6.77) определяем центробежные силы, действующие в оболочке и свинцовой рубашке:

$$P_о=(1000\cdot0,1)^2\cdot16,5(0,95-0,13)\cdot10^{-6}\cdot7850=1062 \text{ Н};$$

$$P_{рб}=(1000\cdot0,1)^2\cdot16,5(0,35+0,13)\cdot10^{-6}\cdot11400=903 \text{ Н}.$$

Сила сопротивления свинцовой рубашки разрыву

$$R_{рб}=16,5(0,35-0,13)\cdot10^{-6}\cdot22\cdot10^6=80 \text{ Н}.$$

Растягивающее тангенциальное напряжение, действующее в оболочке по вылете из канала ствола, определяется по формуле (6.79):

$$\sigma_\theta=\frac{1062+903-80}{16,5(0,95-0,13-0,23)\cdot10^{-6}}=193 \text{ МПа}.$$

Допустимое напряжение разрыву $[\sigma]=0,75\cdot(\sigma_в)_{об}=0,75\cdot360=$ $=270$ МПа. Условие прочности оболочки выполняется: $\sigma_\theta<[\sigma]$.

7. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГИЛЬЗ. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИЛЬЗ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

7.1. Назначение и основные требования, предъявляемые к гильзам

Гильза является одним из основных элементов патрона, от которого зависят надёжность и безотказность действия оружия при различных режимах боевого применения и режимах стрельбы.

Основное назначение гильзы – размещение и обеспечение длительной сохранности заряда и средства воспламенения, обтюрация патронника и затвора от прорыва пороховых газов, соединение всех элементов патрона в единое целое.

Основные требования, предъявляемые к гильзе:

– лёгкость вхождения в камору и точная фиксация в ней;

– надёжность обтюрации от прорыва пороховых газов через затвор, обеспечивающая безопасность стрелка и безотказную работу механизмов перезаряжания;

– прочность и жёсткость при выстреле и в служебном обращении;

– надёжность экстракции из патронника после выстрела;

– прочность удержания пули (снаряда) в дульце при транспортировании и досылании патрона в патронник;

– возможно больший внутренний объём и малая масса за счёт принятия минимальной (из условия прочности) толщины стенки корпуса и дна (масса цельноштампованной гильзы составляет обычно 20...30% массы патрона);

– герметичность, отсутствие химического взаимодействия с зарядом и его предохранение от повреждений при транспортировании и в служебном обращении;

– неизменяемость механических свойств при хранении, стойкость против коррозии и коррозионного растрескивания;

– сравнительная простота конструкции и технологичность применительно к условиям массового производства;

– экономичность изготовления и недефицитность материалов.

Мобилизационные требования предусматривают длительную сохранность патронов без изменения механических и теплофизи-

ческих свойств их элементов, отсутствие коррозии и коррозионного растрескивания гильз, возможность привлечения к их производству предприятий гражданского профиля.

По форме различают гильзы бутылочные и условно цилиндрические. Первые применяют для винтовочных, автоматных, крупнокалиберных и реже (например, к пистолету ТТ) пистолетных патронов, условно цилиндрические с малым углом конуса гильзы – для пистолетных и револьверных патронов (рис. 7.1).

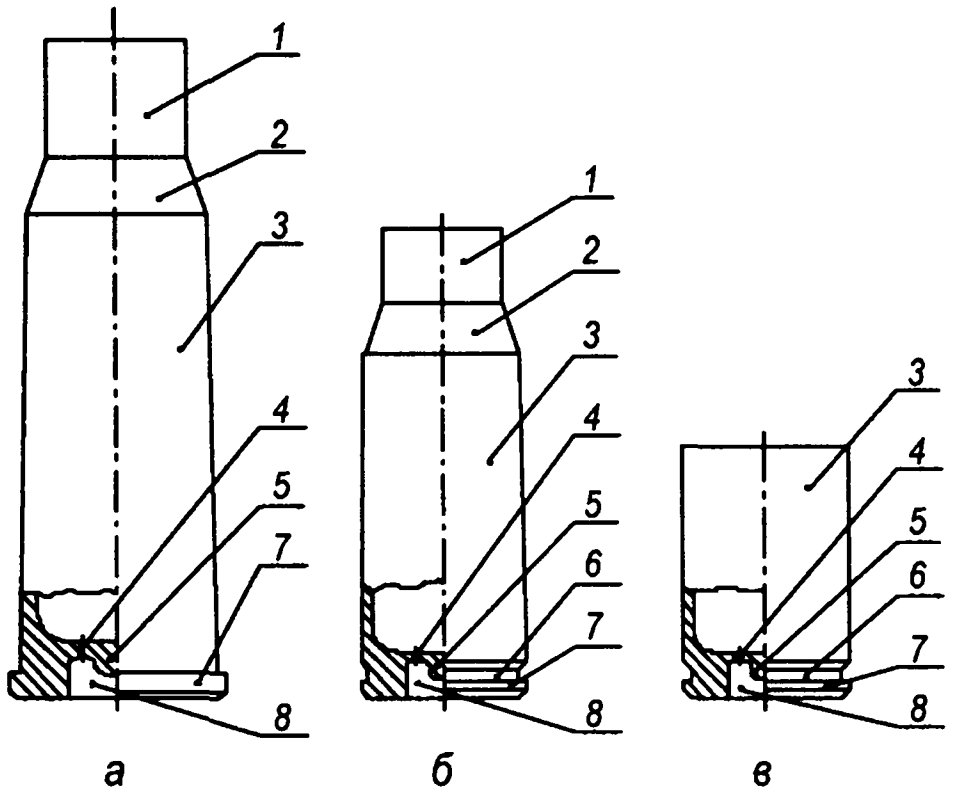


Рис. 7.1. Образцы гильз: *а* – винтовочная с выступающим фланцем; *б* – автоматная с проточкой; *в* – пистолетная цилиндрическая; *1* – дульце; *2* – скат; *3* – корпус; *4* – запальное отверстие; *5* – наковальня: *6* – проточка; *7* – фланец; *8* – капсюльное гнездо

По способу фиксации в патроннике различают гильзы с упором (рис. 7.2):

- фланцем в выточку казённой части ствола;
- скатом в скат патронника;
- дульцем в уступ патронника;
- уступом на корпусе гильзы в выточку казённой части ствола.

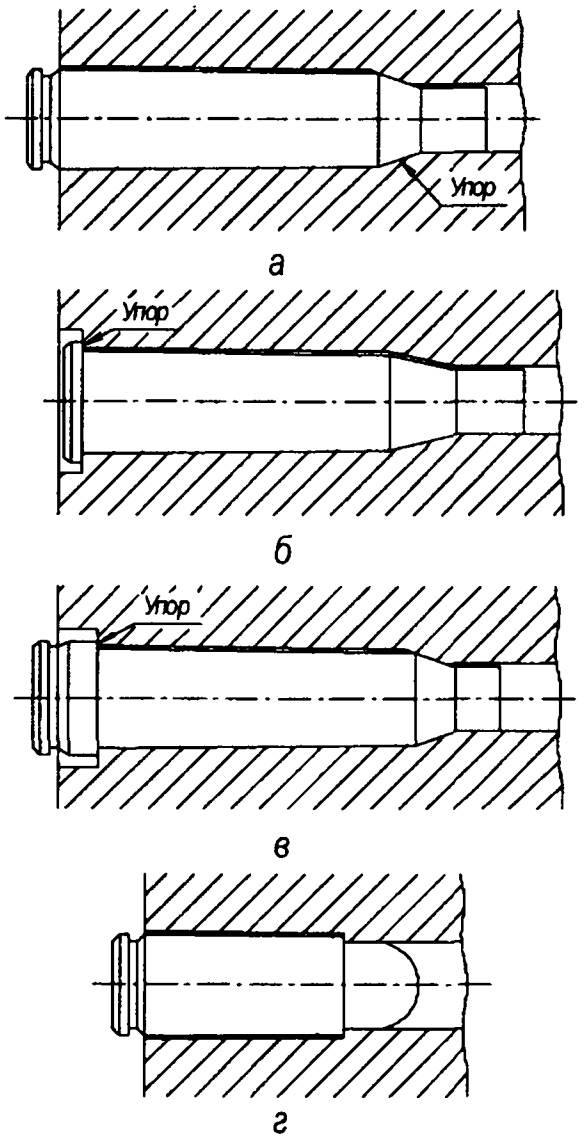


Рис. 7.2. Способы фиксации гильзы в патроннике: *а* – скатом; *б* – фланцем; *в* – уступом на корпусе гильзы в выточку патронника; *г* – дульцем гильзы в уступ патронника

При фиксации патрона фланцем фиксирующими поверхностями являются срез казённой части ствола и передняя часть выступающего (частично выступающего) фланца (рис. 7.2, *а*). Предельная величина зеркального зазора между дном гильзы и чашечкой затвора в этом случае определяется допусками на толщину фланца и элементов узла запирания. Известно, что при одной и той же точности изготовления абсолютный допуск тем меньше, чем меньше базовый размер. Меньший зеркальный зазор

гарантирует невозможность поперечного разрыва гильзы при стрельбе. Поэтому при фиксации фланцем создаются благоприятные условия для менее точного изготовления гильз по наружным размерам. В этом заключается одно из достоинств гильз с выступающим и частично выступающим фланцем. Гильзы с выступающим фланцем обладают наиболее прочным дном, которое лучше сопротивляется осевому растягивающему усилию при выстреле по сравнению, например, с гильзами, имеющими кольцевую проточку. Однако наличие выступающего фланца приводит к увеличению поперечных размеров затвора и ствольной коробки, к ухудшению условий подачи патронов в автоматическом оружии. Усложняется конструкция патронных магазинов. Требуются специальные меры, гарантирующие патроны от сцепления фланцами при подаче из магазина. Указанные недостатки гильзы этого типа трудно преодолимы, поэтому для современного автоматического оружия они не применяются. Практически избавлены от таких недостатков гильзы с частично выступающим фланцем. Обладая основными достоинствами гильз с выступающим фланцем, они позволяют осуществить прямую ленточную подачу патронов и избежать их сцепления фланцами.

При фиксации патрона скатом фиксирующие поверхности – скат гильзы и скат патронника (рис. 7.2, *б*). Поскольку базовым размером является длина корпуса гильзы, то для обеспечения минимального осевого зазора необходимо более точное изготовление наружных размеров гильзы и элементов узла запирания. При таких условиях поперечная прочность гильзы будет обеспечена даже при наличии кольцевой проточки под захваты экстрактора. Необходимость повышения точности наружных размеров гильзы – основной недостаток этого способа фиксации. Однако он преодолим при современных технологиях изготовления патронов и оружия, и гильзы этого типа уже широко применяются в бутылочных патронах для стрелкового автоматического оружия.

При фиксации патрона кольцевым выступом (рис. 7.2, *в*) на гильзе фиксирующими поверхностями являются кольцевой упор в казённике оружия и бурт кольцевого выступа гильзы. Такая конструкция уменьшает недостатки фланцевой и безфланцевой гильз, но не получила широкого применения из-за собственных недостатков: увеличенная масса гильзы, непригодность для пря-

мой ленточной подачи патронов, наличие концентратора напряжений на корпусе гильзы и казённика. Применение гильз этого типа пока ограничивается патронами малокалиберных (23 мм) автоматических пушек с магазинным питанием. Во избежание сцепления патронов высота опорного выступа должна превышать возможное осевое перемещение патронов в магазине.

По конструкции гильзы делятся на цельнотянутые (цельноштампованные) и сборные. В настоящее время сборные гильзы с металлическим, картонным или пластиковым корпусом применяют, в основном, для охотничьих патронов гладкоствольного оружия.

По материалу гильзы делятся на две разновидности: изготовленные из конструкционных металлических материалов (малоуглеродистая сталь, латунь, биметалл), неметаллических (картон, полиэтилен, сгорающих (пиротехнических).

7.2. Устройство гильзы

Гильза представляет собой полое тонкостенное изделие с массивным дном.

По форме гильзы делятся на бутылочные и цилиндрические, а по форме донной части – на фланцевые и безфланцевые.

Гильза бутылочной формы (рис. 7.3, *а*) состоит из четырёх основных элементов: дульца *1*, ската *2*, корпуса *3* и донной части *4*. В гильзах цилиндрической формы (рис. 7.3, *б*) дульце и скат отсутствуют.

Во всех образцах корпус по наружному очертанию имеет небольшую конусность, угол между образующей и осью гильзы $\beta=30'...1^{\circ}$. Такая форма корпуса способствует облегчению заряжания и экстракции. Некоторые образцы гильз имеют большую конусность корпуса ($\beta=1^{\circ}15'...1^{\circ}30'$), что в случае защемления облегчает её экстракцию, но приводит к снижению поперечной прочности при стрельбе.

Оригинальной является конструкция гильз к малокалиберным пушкам барабанного типа, где особенности досылания и экстракции требуют наличия обратной конусности корпуса $\beta=0^{\circ}05'$ (рис. 7.3, *в*).

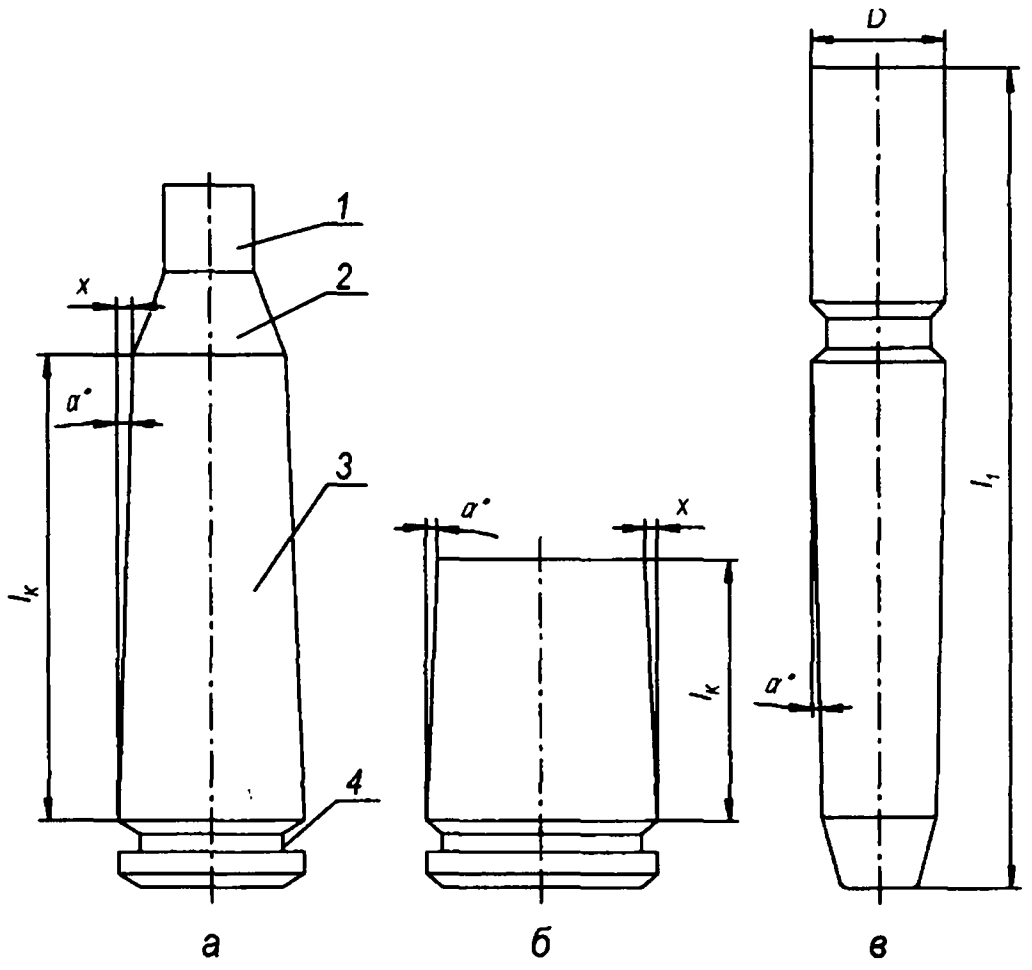


Рис. 7.3. Форма гильз: *а* – бутылочная; *б* – цилиндрическая; *в* – с обратной конусностью

Важной характеристикой формы гильзы, да и патрона, является коэффициент бутылочности ψ, определяемый соотношением продольных и поперечных размеров каморы заряжания:

$$\psi = \sqrt{\frac{F_{км}}{F_0}} = \frac{l_0}{l_{км}},$$

где $F_{км}$ – средняя по высоте корпуса гильзы внутренняя площадь поперечного сечения; F_0 – площадь поперечного сечения канала ствола с учётом нарезов; l_0, $l_{км}$ – приведённая и истинная длина каморы (в патроне – расстояние от дна гильзы до дна снаряда) соответственно.

Приближённое значение коэффициента бутылочности определяется выражением

$$\psi = D_{ср}/d,$$

где $D_{ср}$, d – средний по высоте внутренний диаметр корпуса и внутренний диаметр дульца соответственно.

Бутылочность влияет на свойства патрона и оружие, определяя его могущество, габариты, массу, условия досылания патронов и экстракцию. С увеличением коэффициента бутылочности обычно возрастают масса гильзы, поперечные размеры казённой части ствола, затвора и ствольной коробки, но уменьшается их длина.

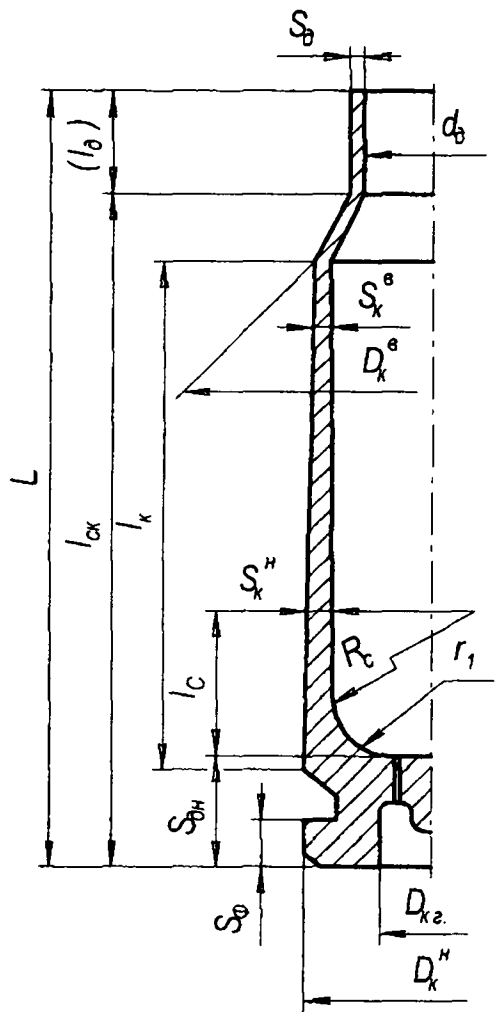


Рис. 7.4. Обозначение основных конструктивных элементов гильзы

Для обеспечения оптимальных габаритов и массы оружия необходимо принимать соответствующее значение коэффициента бутылочности, при котором система патрон-оружие обеспечивала бы максимально возможную эффективность и функциональную надёжность комплекса при стрельбе. Бутылочные патроны стрелковых систем имеют коэффициент бутылочности в пределах $\psi = 1{,}30\ldots1{,}65$.

Каждый элемент гильзы имеет своё назначение, и в соответствии с условиями функционирования ему придают определённые размеры и форму (рис. 7.4).

Дульце гильзы служит для прочного удержания в нём пули (снаряда), что одновременно способствует улучшению обтюрации пороховых газов. В некоторых образцах дульце является средством фиксации патрона в патроннике.

Размеры дульца определяются толщиной стенки, способом закрепления пули и её калибром. Прочность соединения пули с гильзой характеризуется усилием и работой распатронирования,

необходимыми для извлечения пули из дульца гильзы. Это соединение имеет особое значение в скорострельных системах, в которых патроны подвергаются действию значительных инерционных нагрузок в процессе их подачи в патронник. Необходимое извлекающее усилие достигается соответствующими толщиной стенки и длиной дульца, натягом между ним и ведущей частью пули, механическими свойствами дульца, способом его соединения с пулей. Наиболее эффективным является применение закатки или обжима секторами стенок дульца в канавку на пуле. При необходимости обеспечить значительное извлекающее усилие (особенно в патронах к автоматическим малокалиберным скорострельным пушкам) применяется закатка дульца (или обжим секторами) в два раза. Толщина стенки дульца для существующих образцов находится в пределах

$$S_д = (0{,}025 \ldots 0{,}050)d.$$

Внутренний диаметр дульца определяется диаметром ведущей части пули и натягом посадки пули в дульце:

$$d_д = (0{,}994 \ldots 0{,}990)d_п.$$

Допуск на внутренний диаметр дульца $d_д$ выбирают так, чтобы пуля находилась в нём хотя бы с минимальным натягом:

$$\Delta d_д = d_п - 1{,}006\, d_д - \Delta d_п,$$

где $\Delta d_п$ – допуск на диаметр ведущей части пули.

Скат гильзы является переходным элементом от дульца к корпусу; он служит одним из обтюрирующих её участков, а в некоторых конструкциях – фиксирующим элементом при заряжании, а также средством гашения кинетической энергии патрона при его досылании в патронник. Поэтому скат гильзы должен иметь небольшую толщину и невысокий предел текучести.

Некоторое пластическое обжатие ската, допускаемое в процессе досылания, надёжнее осуществляется в латунных гильзах. В стальных гильзах при стрельбе в зенит указанное обжатие становится затруднительным, вследствие чего может иметь место неполное закрывание затвора. Это обстоятельство послужило, например, поводом к принятию конструкций с уступом на корпусе гильзы для упора в уступ патронника (гильзы к малокалиберной пушке ЗУ-23 клб. 23 мм).

Конусность ската зависит от бутылочности гильзы и способа фиксации в патроннике. Угол конусности для гильз с фиксацией в скат принимают в пределах $\alpha = 15^\circ...25^\circ$. У гильз с фиксацией в патроннике другими элементами конусность ската обычно меньше, так как она в этих случаях не влияет на точность фиксации патрона. Толщина стенки ската в верхней части равна толщине стенки дульца, а в нижней – толщине корпуса. Длина ската может быть рассчитана как

$$l_{ск} = \frac{1}{2}\left(d_{ск} - d_{д}^{н}\right)\mathrm{ctg}\alpha .$$

Корпус гильзы предназначен для размещения и сохранности порохового заряда, а его верхняя часть является еще и средством обтюрации.

Корпус гильзы – её наиболее ответственный элемент, который должен отвечать требованиям обтюрации, прочности, жёсткости и надёжной экстракции. Обтюрирующим элементом является верхняя часть корпуса. Исходя из разнообразия требований, предъявляемых к корпусу, и условий его функционирования при выстреле он выполняется как оболочка с переменной толщиной стенки и различными вдоль образующей механическими свойствами. Толщина его стенок от верхней к нижней части принимается постепенно возрастающей, а на придонном участке резко увеличивается. Первый участок по внутреннему очертанию выполняется по прямолинейной образующей, а второй придонный – по радиусной.

Сечение корпуса в месте перехода линейной образующей в радиусную называется нижним сечением, а его толщина $S^{н}_{к}$ назначается из условий прочности и обеспечения надёжной экстракции. Ориентировочно $S^{н}_{к}=(0{,}12...0{,}18)d$, причём меньшее значение – для больших калибров. Для уменьшения массы гильзы, увеличения внутреннего её объёма и облегчения экстракции толщину стенок корпуса необходимо назначать максимально допустимой из условия прочности при выстреле и жёсткости при транспортировке и досылании в патронник.

Большое влияние на функционирование гильз оказывает непосредственно нижняя (придонная) часть корпуса, характеризуемая толщиной $S^{н}_{к}$, профилем сопряжения $R_{с}$, длиной участка сопря-

жения l_c, радиусом угла гильзы r. Для крупных стрелковых калибров R=(8...10)d. Радиус сопряжения внутренней образующей с дном принимают в пределах r=(0,18...0,25)d.

Наружные размеры корпуса определяют по каморе оружия с учётом начального зазора между ними. Конусность корпуса соответствует конусности каморы (β=0°30'...1°) с учётом начального зазора между ними. Относительный начальный зазор принимается в пределах 1...1,5 до 2% диаметра каморы.

Дно гильзы предназначено для размещения в нём средства воспламенения, запирания канала ствола, досылания патрона в камору, уменьшения деформации корпуса и фланца гильзы при стрельбе. Форма и толщина дна определяются в зависимости от размеров гильзы и средств воспламенения, величины максимального давления пороховых газов, конструкции каморы и оружия в целом (наличия или отсутствия вырезов, типа упора и др.).

Внутренняя поверхность дна может быть плоской или иметь выступ в центральной части. В нём размещается гнездо под капсюль-воспламенитель и предусматриваются запальные отверстия, через которые осуществляется воспламенение порохового заряда (рис. 7.5).

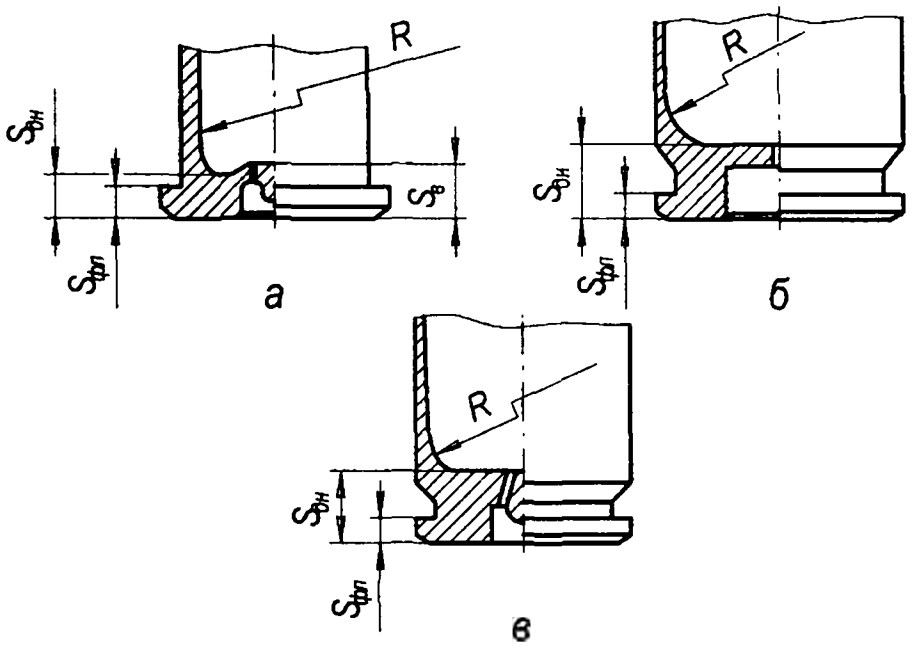


Рис. 7.5. Конструкция донной части гильз: *а* – с внутренней фигурной поверхностью и двумя запальными отверстиями: *б* – с центральным запальным отверстием; *в* – с наклонным запальным отверстием

Толщина дна гильзы принимается из условия обеспечения перекрытия дном вырезов на казённом срезе ствола под выбрасыватели, захваты и т.п. во избежание разрыва стенки гильзы при выстреле. Размеры извлекающих захватов и вырезов на казённом срезе ствола увеличиваются с увеличением диаметра дна гильзы. Поэтому толщина дна должна увеличиваться пропорционально диаметру.

У гильз с невыступающим и частично выступающим фланцем толщина дна находится в пределах

$$S_{дн}=(0{,}40\ldots0{,}45)d_{дн},$$

а для гильз с выступающим фланцем

$$S_{дн}=(0{,}32\ldots0{,}37)d_{дн}.$$

Форма внутренней поверхности делается обычно с закруглением места перехода дна в стенки радиусом 1...2 мм для гильз малого и среднего калибров и 3...4 мм для гильз крупного калибра. Возможна и другая форма внутреннего придонного участка, например оформление его в виде сопряжённых дуг окружности малого и большого радиусов, что нередко связано с рациональным построением вытяжного инструмента, формирующего не только размеры, но и механические характеристики корпуса гильзы.

Наружная поверхность дна стрелковых гильз изготавливается плоской со знаками клеймения в виде углублений (рис. 7.6). Другие углубления и выступы на наружной поверхности нежелательны во избежание развития локальных деформаций, формирования концентраторов напряжений при выстреле, что может привести к поперечным разрывам корпуса гильзы.

Диаметр капсюльного гнезда $d_{к.г}$ принимается с расчётом обеспечения гарантированного натяга при запрессовке капсюля (рис. 7.7)

$$d_{к\,г}=(0{,}97\ldots0{,}98)d_{к},$$

где $d_к$ – диаметр капсюля. Глубина капсюльного гнезда определяется высотой капсюля и глубиной его посадки:

$$h_{к\ г}=h_{к.max}+e_1+e_2,$$

где $h_{к\,max}$ – максимальная высота капсюля; $e_1=(0{,}2\ldots0{,}3)$ мм – минимальный зазор между торцем колпачка капсюля и дном капсюльного гнезда; $e_2=(0{,}2\ldots0{,}4)$ мм – максимальная глубина посадки капсюля.

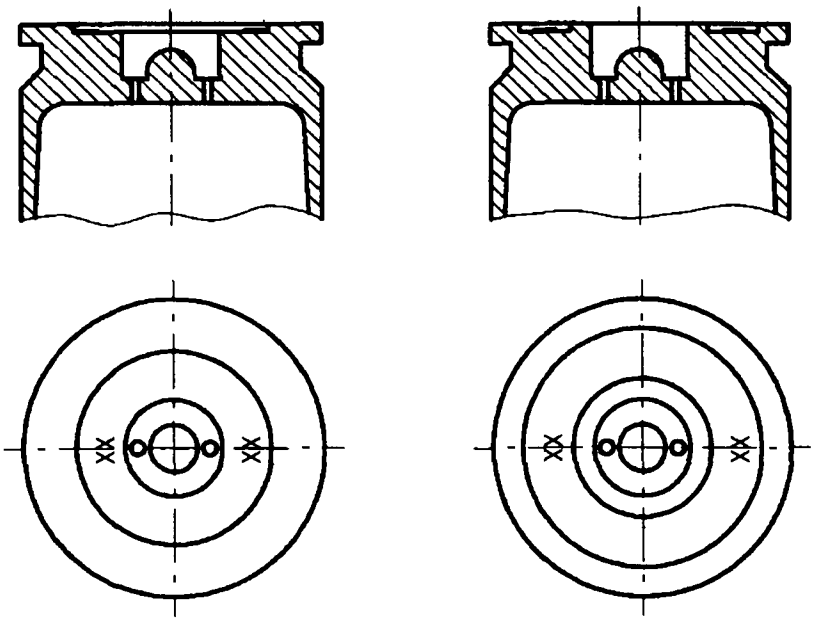


Рис. 7.6. Фигурная форма наружной поверхности дна гильзы

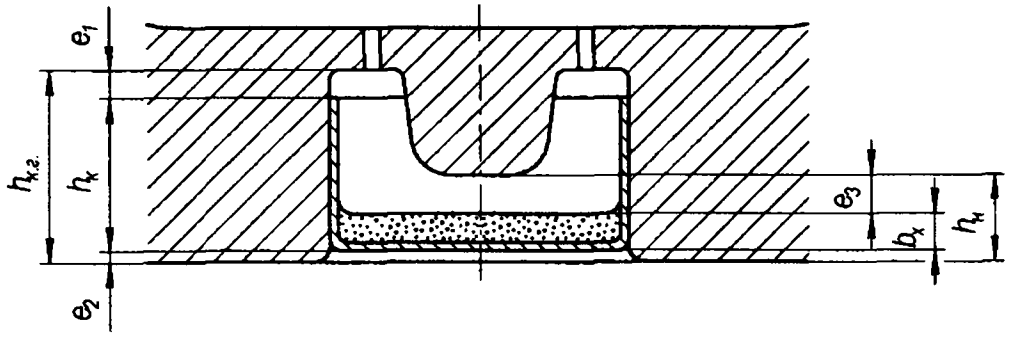


Рис. 7.7. Конструкция капсюльного гнезда

Для обеспечения вставки и запрессовки капсюля в гнездо по верхней его кромке делается фаска 0,5 мм под углом 30°.

Высота наковальни, измеряемая от наружной поверхности дна гильзы,

$$h_н = h_{к.max} + e_2 + e_3,$$

где e_3 – зазор между наковальней и ударным составом – принимается в пределах от –0,30 до +0,70 мм с учётом возможного поджатия ударного состава.

Диаметр наковальни

$$d_н = (0{,}4 \ldots 0{,}5) d_{к\ г}.$$

Вершина наковальни делается сферической. Если применяется капсюль с собственной наковальней, то капсюльное гнездо цилиндрическое с центральным запальным отверстием (рис. 7.5, *в*). При наличии наковальни обычно два запальных отверстия: прямые (рис. 7.5, *а*) или наклонные (рис. 7.5, *б*).

Толщина перегородки определяется толщиной дна гильзы и глубиной капсюльного гнезда:

$$h_{\text{п}}=S_{\text{дн}}-h_{\text{к. г}}.$$

При окончательном установлении толщины перегородки необходимо учитывать способ образования запальных отверстий – сверлением или пробивкой. Последний более производителен, однако требует минимальной толщины перегородки $h_{\text{п}} \le d_{\text{з.о}}$. Уменьшить толщину перегородки при заданной толщине дна можно за счёт углубления на внутренней поверхности дна в процессе штамповки. Во избежание разрушения перегородки при разбитии капсюля её толщина не должна быть меньше $0{,}2\ d_{\text{к. г}}$.

Диаметр запальных отверстий зависит от диаметра капсюльного гнезда, характеризующего мощность капсюля, и от количества отверстий. При двух запальных отверстиях диаметр их принимают в пределах

$$d_{\text{з.о}}=(0{,}13\ldots0{,}18)d_{\text{к.г}}.$$

Если запальное отверстие одно, то его диаметр больше:

$$d_{\text{з.о}}=(0{,}20\ldots0{,}25)d_{\text{к.г}}.$$

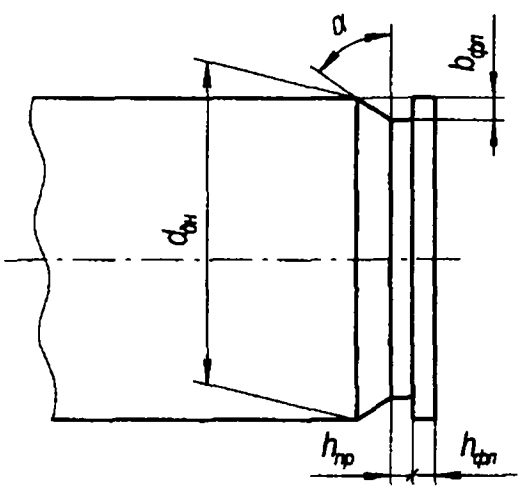


Рис. 7.8. Размеры фланца гильзы

Размеры фланца (рис. 7.8) выбираются из условия обеспечения прочного функционирования гильзы при экстракции. Толщина фланца

$$S_{\text{фл}}=(0{,}09\ldots0{,}13)d_{\text{дн}}.$$

Ширина фланца или глубина проточки

$$b_{\text{фл}}=(0{,}6\ldots0{,}9)S_{\text{фл}}.$$

Для обеспечения прочности фланца сопряжение его с поверхностью корпуса осуществляется по радиусу корпуса 0,5 мм.

Если фланец образован кольцевой проточкой, то ширина последней берётся равной:

$$h_{\text{пр}} = (1{,}0 \ldots 1{,}5) S_{\text{фл}}.$$

Передняя стенка проточки делается наклонной под углом порядка 45°. Толщина стенки корпуса гильзы и характер распределения механических свойств назначаются исходя из обеспечения продольной и поперечной прочности корпуса при выстреле и надёжной экстракции гильзы после выстрела.

Ориентировочно в месте сопряжения стенки корпуса с дном

$$S^{\text{н}} = (0{,}10 \ldots 0{,}15) d_{\text{г}},$$

в зоне сопряжения корпуса со скатом

$$S^{\text{в}} = (0{,}10 \ldots 0{,}15) d_{\text{г}}.$$

После расчёта гильзы на экстракцию, продольную и поперечную прочность толщина стенки уточняется.

7.3. Материалы для гильз

К материалам для изготовления цельноштампованных гильз предъявляют следующие основные требования:

– высокая пластичность при обработке штамповкой в холодном состоянии, обеспечивающая упруго-пластическую деформацию при выстреле без нарушения прочности;

– способность к деформационному упрочнению для получения необходимых свойств;

– высокая прочность, обеспечивающая надёжное функционирование гильзы при выстреле;

– неизменяемость механических свойств в процессе длительного хранения, стойкость против старения и самопроизвольного растрескивания;

– высокая антикоррозионная стойкость в процессе изготовления и последующего хранения;

– простота термической обработки в процессе производства и стойкость против воздействия высокой температуры при выстреле;

– химическая инертность по отношению к пороховому заряду;

– высокая технологичность, т.е. пригодность к холодной

обработке давлением и механической обработке резанием;

– низкая стоимость и недефицитность.

Наилучшим материалом с точки зрения соответствия эксплуатационным требованиям является латунь марок Л68 и Л70, однако она имеет высокую стоимость, склонна к коррозионному растрескиванию, что усложняет длительное хранение патронов и требует специальных мер по замедлению процесса растрескивания. Химический состав гильзовой латуни приведён в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Химический состав гильзовой латуни, %

Марка материала	Медь	Цинк	Примеси, не более			
			Железо	Свинец	Фосфор, мышьяк, олово	Сера, сурьма, висмут
Л68	67...70	30...33	0,1	0,33	0,005	0,002
Л70	69...72	28...31	0,1	0,03	0,005	0,002

Латуни обладают наиболее высокими характеристиками пластичности, способностью к интенсивному упрочнению, достаточной прочностью (рис. 7.9); предел прочности $\sigma_в$ = = 300...350 МПа, относительное удлинение δ=50...55%, относительное поперечное сужение ψ=45...50%.

Склонность к коррозионному растрескиванию зависит от химического состава сплава, наличия остаточных напряжений и воздействия химически активной окружающей среды.

Химический состав латуни определяется главными элементами: медью и цинком. В сплаве эти металлы вступают в электрохимическое взаимодействие, в результате чего по границам зёрен будет происходить окисление металла и образование рыхлого окисного слоя. Разрыхлению этих пограничных слоёв способствуют пары аммиака (NH_3) и гремучей ртути ($Hg(CNO)_2$). Эти химические соединения являются компонентами пороховых зарядов и инициирующих веществ капсюлей.

В дальнейшем под действием остаточных растягивающих напряжений по границам зёрен появляются микротрещины, возникновение которых связано с неоднородной пластической деформацией наружных и внутренних слоёв штампуемых полуфабрикатов, например, при вытяжке с утонением.

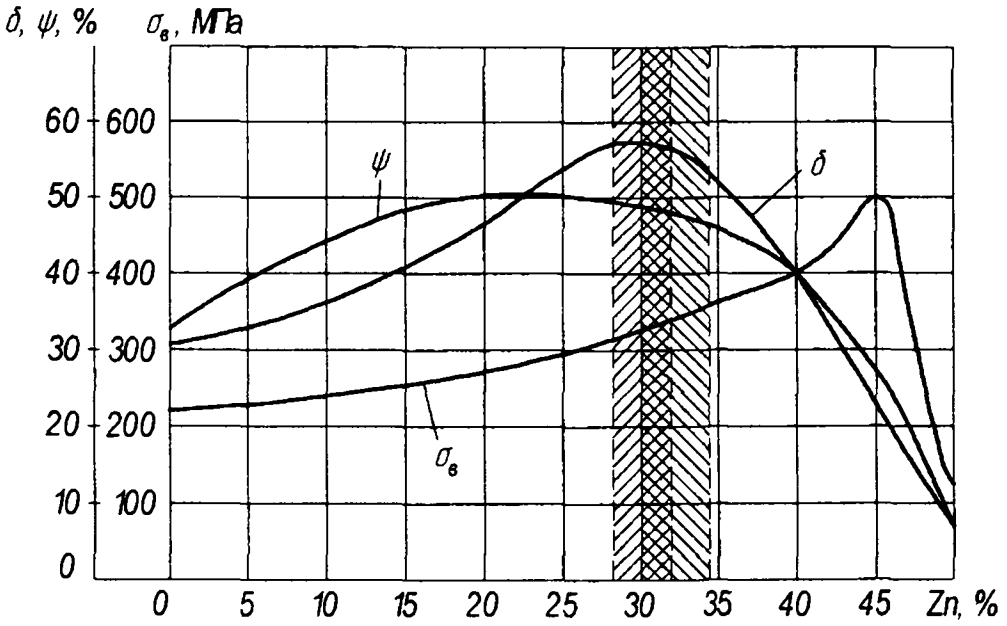


Рис. 7.9. Механические характеристики латуни в зависимости от содержания цинка

Для предотвращения коррозионного растрескивания на финишных вытяжных операциях назначают малую пластическую деформацию с последующим низкотемпературным отпуском, что снижает величину остаточных напряжений. Во избежание действия агрессивной химической среды гильзы обрабатывают специальными инертными покрытиями (лакирование, фосфатирование, никелирование и т.п.), а хранение и транспортировку боеприпасов осуществляют в специальной герметичной укупорке. Для изготовления некоторых образцов артиллерийских гильз применяют латунь с добавкой кремния (например, ЛК75-05), который уменьшает электрохимическое взаимодействие меди и цинка в сплаве.

Более дешёвым и недефицитным материалом, не склонным к коррозионному растрескиванию, является малоуглеродистая сталь марок 11ЮА и 18ЮА. Она уступает латуни в пластичности и интенсивности упрочнения, обладает более высокой сопротивляемостью, которая снижает стойкость рабочего инструмента при изготовлении гильз штамповкой, требует специальных антикоррозионных и антифрикционных покрытий.

Химический состав сталей, применяемых для изготовления гильз, приведен в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Химический состав гильзовой стали, %

Марка материала	Углерод	Марганец	Хром	Никель	Примеси, не более			
					Кремний	Медь	Сера	Фосфор
Ст 11ЮА	0,09...0,13	0.35...0.55	0,15	0,30	0,06	0,20	0,40	0,035
Ст 18ЮА	0,16...0,22	0,25...0,50	0,20	0,20	0,13	0,20	0,03	0,025
Биметалл-1*	0,12...0,20	0,35...0,60	0,15	0,30	0,08	0,20	0,04	0,035
Биметалл-3*	0,09...0,13	0,35...0,90	0,15	0,30	0,08	0,20	0,04	0,035

* Дан химический состав основного слоя металла (без плакировки)

Механические свойства гильзовой стали в исходном состоянии: $\sigma_в$=300...400 МПа; δ=28...40%.

Для упрощения технологического процесса изготовления стальных гильз применяется малоуглеродистая сталь, покрытая с одной или с двух сторон томпаком, толщина слоя которого составляет 4...6% толщины основного стального слоя. Томпак служит своего рода твёрдой смазкой при вытяжке гильз и антикоррозионным покрытием полуфабрикатов и готовых гильз. Биметалл является хорошим гильзовым материалом, но применение его также связано с расходованием дорогого сплава – томпака (медь 90% + цинк 10%). Однако при изготовлении гильз из биметалла на всегда удаётся сохранить сплошность томпакового покрытия на всей поверхности; применение процессов резания также оголяет основной слой металла, что вынуждает в последующем в этих местах проводить антикоррозионную обработку.

Механические свойства металла в готовой гильзе отличаются от свойств исходного материала и зависят от степени пластической деформации (рис. 7.10) и режимов термообработки (рис. 7.11), составляющих основу технологических процессов изготовления гильз.

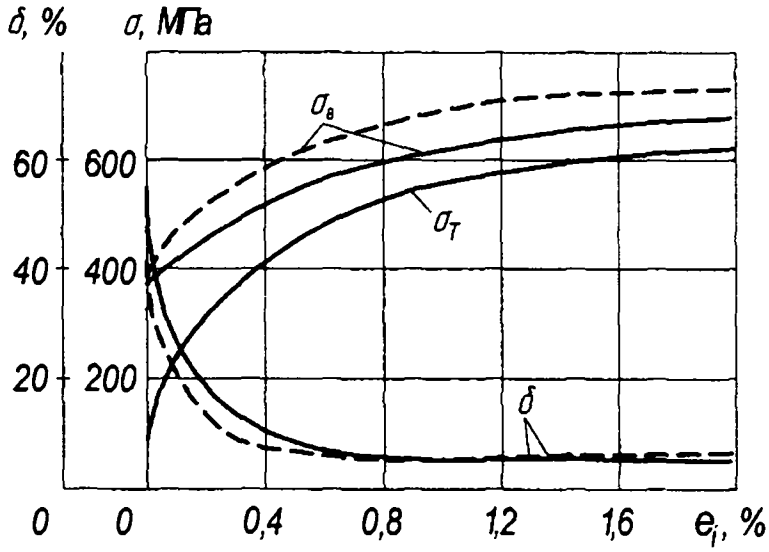


Рис.7.10. Зависимость механических характеристик латуни (____) и гильзовой стали (_ _ _) от степени деформации

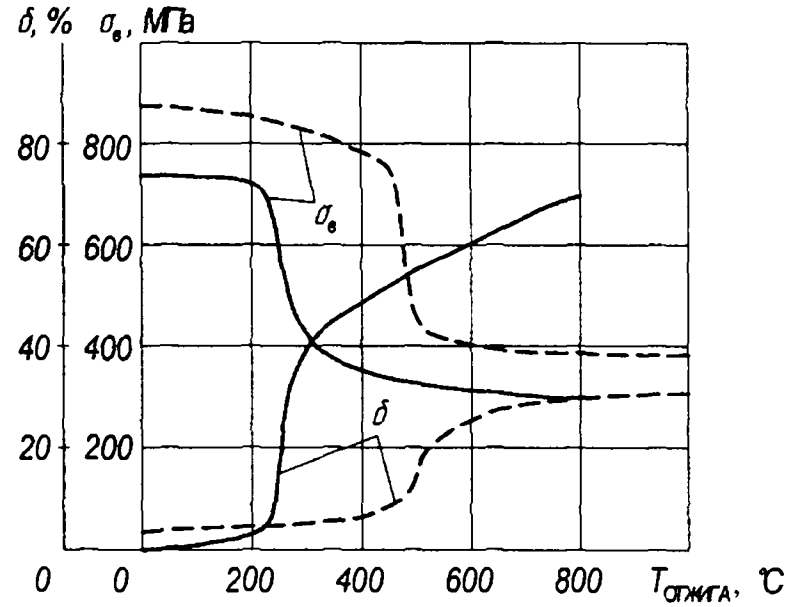
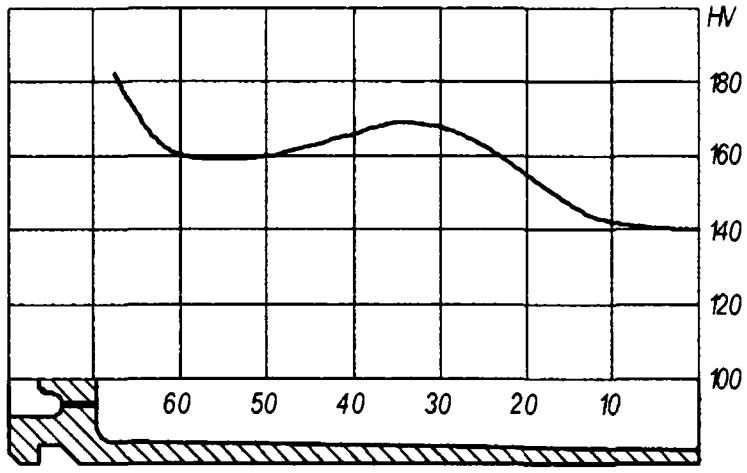
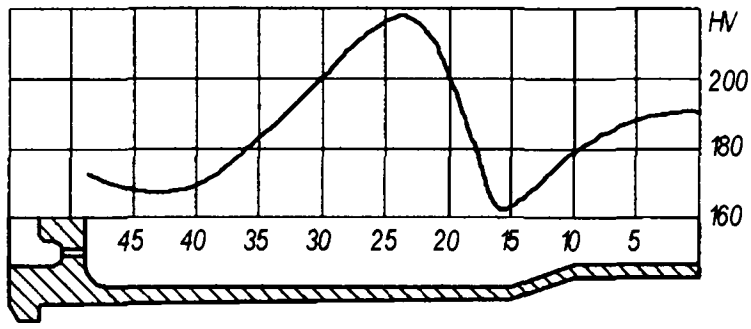


Рис. 7.11. Зависимость механических характеристик наклёпанной латуни (____) и гильзовой стали (_ _ _) от температуры отжига

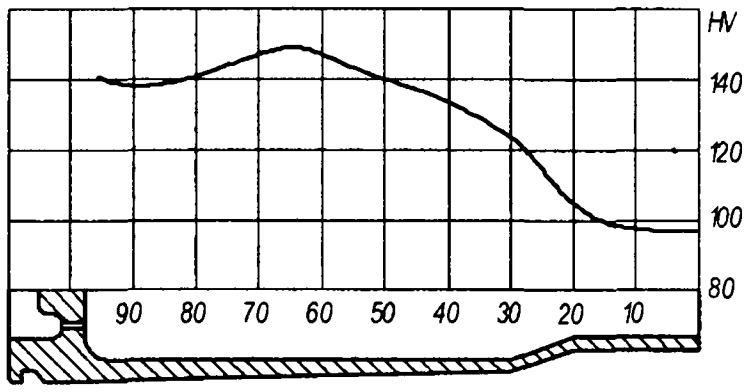
Рациональным является такое распределение механических свойств, когда наиболее упрочнён корпус гильзы – его центральная часть, что обеспечивает упругую разгрузку и образование положительного конечного зазора, облегчающего экстракцию гильзы после выстрела (рис. 7.12).



а



б



в

Рис. 7.12. Распределение твёрдости *HV* по длине 20-мм стальной (*а*), 7.62-мм биметаллической (*б*) и 12.7-мм латунной (в) гильз

Нижняя, придонная часть корпуса упрочнена меньше, поэтому имеет больший запас пластичности, что гарантирует прочную осевую деформацию гильзы при выстреле. В зоне сопряжения

корпуса со скатом запас пластичности ещё больше, эта часть гильзы отжигается перед обжимом, и наклёп её минимален. Податливая тонкостенная оболочка в начале выстрела до момента форсирования плотно прилегает к поверхности каморы, обеспечивая надёжную обтюрацию пороховых газов.

7.4. Функционирование гильзы при выстреле

Гильза является элементом патрона, и её функционирование подчиняется закономерностям нарастания давления пороховых газов, быстро меняющейся температуры, взаимодействия элементов, участвующих в выстреле. Поэтому целесообразно увязать условия функционирования гильзы с процессом выстрела, его характерными периодами и моментами, изучаемыми во внутренней баллистике. Продолжительность механического воздействия пороховых газов на гильзу устанавливается зависимостью $p(\tau)$ (рис. 7.13) и практически ограничивается моментом окончания периода последействия. Тепловое воздействие пороховых газов на гильзу начинается с момента возгорания заряда и заканчивается к моменту экстракции. Механическое и тепловое воздействия во времени различны, поэтому изменение деформированного состояния не заканчивается периодом последействия, а продолжается под воздействием теплового фактора.

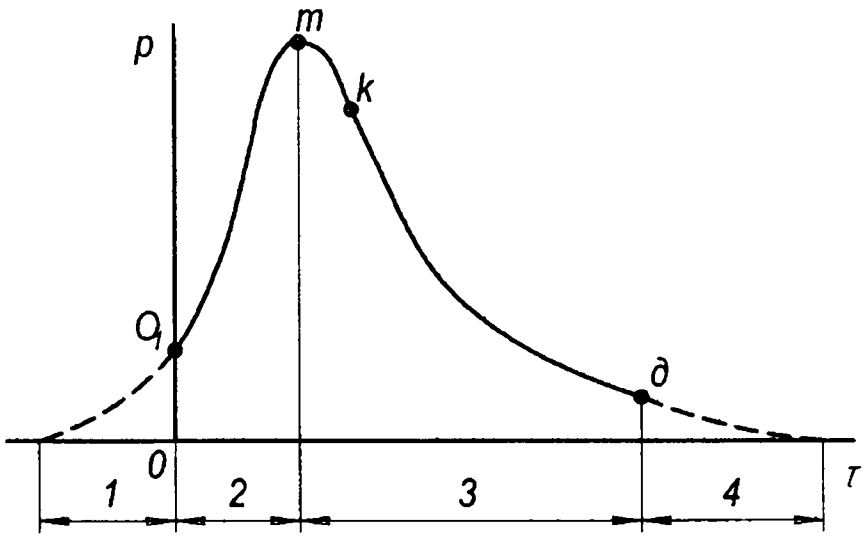


Рис.7.13. Типовая закономерность изменения $p(\tau)$ в процессе выстрела и основные периоды функционирования гильз

Для разработки методик расчёта конечного зазора, оценки продольной и поперечной прочности предлагается модель процесса функционирования гильзы, которая представляется в виде оболочки с дном, расположенной в соосной ей каморе – толстостенном цилиндре, закрытом затвором (опорным узлом). Перед выстрелом между корпусом гильзы и каморой имеется начальный диаметральный зазор, а между её дном и зеркалом затвора – начальный осевой зазор (рис. 7.14).

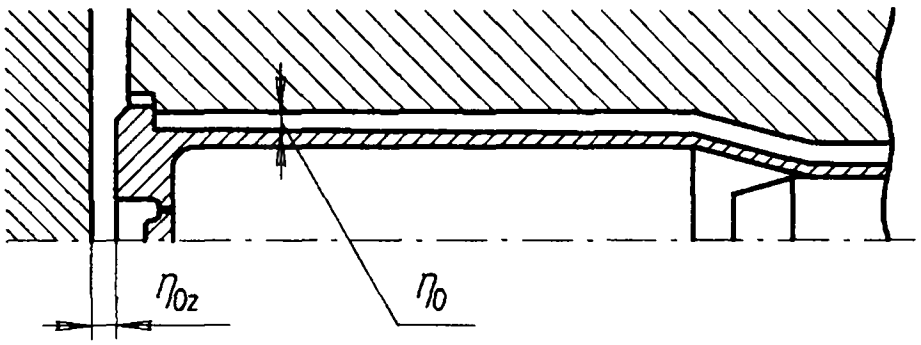


Рис. 7.14. Положение гильзы в каморе перед выстрелом

Процесс функционирования гильзы при выстреле можно разделить на четыре периода. Такая идея построения модели была предложена в 1904 г. русским полковником А. Г. Матюниным.

Первый период характеризуется растяжением стенок гильзы под действием пороховых газов до соприкосновения их со стенками каморы (патронника); во втором периоде происходит растяжение стенок гильзы совместно с каморой до момента p_m с возникновением реакции каморы и затвора; в третьем периоде начинается упругая разгрузка (уменьшение диаметра) гильзы совместно с каморой и возвращение каморы и затвора в исходное положение; в четвёртом периоде продолжается упругая разгрузка (деформация) гильзы после возвращения стенки каморы в исходное положение, отделение стенки гильзы от поверхности каморы или её защемление в каморе.

С целью схематизации предложенной модели введём следующие обозначения: η_0 – абсолютный начальный зазор между гильзой и каморой, $\eta_0=D_к-D_г$; η_{0x} – начальный осевой зазор между дном гильзы и затвором; $\Delta_0=\eta_0/D_г$ – относительный начальный зазор; $\eta_к$ – абсолютная деформация каморы по диаметру, отве-

чающая моменту p_m; $\varepsilon_к = \eta_к / D_к$ – относительная тангенциальная деформация каморы; $\eta_{у\,з}$ – упругая деформация затвора (опорного узла запирания) к моменту p_m; η_1 – абсолютный конечный зазор между гильзой и каморой к моменту экстракции; Δ_1 – относительный конечный зазор.

В принятых обозначениях основные периоды функционирования гильзы при выстреле характеризуются следующим образом:

- первый период – выбор корпусом гильзы начального зазора Δ_0;
- второй период – совместная деформация гильзы, каморы ($\Delta_0+\varepsilon_к$) и затвора до момента p_m;
- третий период – совместная обратная деформация (упругая разгрузка) каморы, затвора и гильзы до прихода каморы и затвора в исходное положение;
- четвёртый период – самостоятельная деформация гильзы (упругая разгрузка) с образованием конечного зазора Δ_1. В случае образования натяга четвёртый период отсутствует.

Приведённая схема является приближенной, но наглядной, причём каждому периоду присущи свои особенности.

Первый период – выбор гильзой начального зазора. После воспламенения заряда под действием нарастающего давления пороховых газов происходит деформация корпуса гильзы и выбор зазора путём упругой, а затем и пластической деформации. Указанный процесс происходит последовательно, от верхней части корпуса к нижней. Давление пороховых газов к концу первого периода приближённо устанавливается из условия равновесия элемента единичной длины, выделенного из корпуса (рис. 7.15):

$$p = \sigma_\theta \cdot \frac{2S}{D}, \qquad (7.1)$$

где p – давление пороховых газов к концу первого периода; σ_θ – тангенциальное напряжение в стенке корпуса; S, D – толщина стенки и диаметр в рассматриваемом сечении корпуса.

К концу первого периода гильза переходит в пластическое состояние, так как начальный зазор Δ_0=1,0...2,0% больше упругой составляющей деформации корпуса гильзы. Следовательно, тангенциальное напряжение практически равно пределу текучести материала корпуса. Тогда давление газов $p_{0\,2}$, необходимое для

достижения этого предела, будет равно:

$$p_{0.2} = \sigma_{0.2} \cdot \frac{2S}{D}. \qquad (7.2)$$

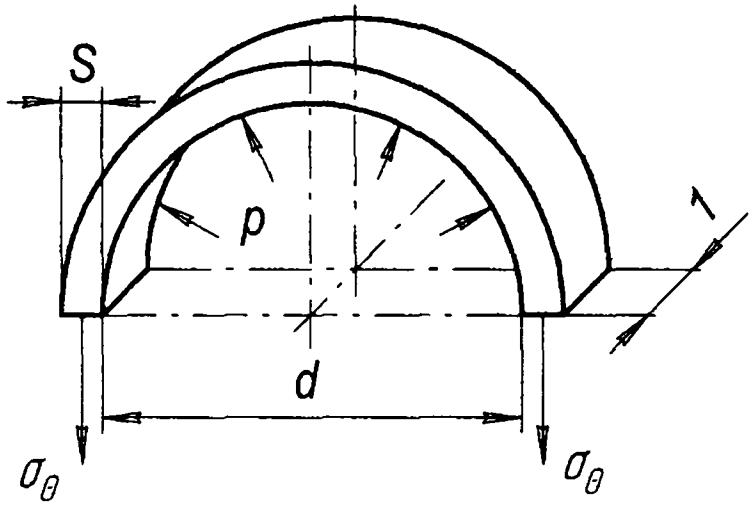


Рис. 7.15. Элемент единичной длины, выделенный из корпуса гильзы

Установим примерное значение этого давления. Для латунной гильзы клб. 12,7 мм: в верхней части корпуса $\sigma_{0.2} = 250...300$ МПа; $S^{в} = 0{,}65$ мм; $D = 21{,}0$ мм; в нижней $\sigma_{0.2} = 550...650$ МПа; $S^{н} = 1{,}6$ мм; $D = 22{,}0$ мм.

Соответственно после подстановки приведённых данных в формулу (7.2) получим: для верхней части корпуса $p_{0.2} = \frac{275 \cdot 2 \cdot 0{,}65}{21{,}0} = 17{,}0$ МПа; для нижней $p_{0.2} = \frac{600 \cdot 2 \cdot 1{,}6}{22{,}0} = 87{,}3$ МПа.

Для стальной гильзы эти значения будут на 30...40% выше. Таким образом, выбор корпусом гильзы начального зазора заканчивается при давлении пороховых газов, близком к давлению форсирования.

Переход стенок гильзы из упругого состояния в пластическое при выборе его начального зазора может быть обосновано расчётом. Так, в приведённом примере упругая окружная деформация $\varepsilon_{\theta упр} = \sigma_\theta / E$ латунной гильзы при модуле упругости латуни $E = 1 \cdot 10^5$ МПа приближённо составит: в верхней части корпуса

$\varepsilon_{\theta упр} = {275}/{10^5} = 0,0025 = 0,25\%$, в нижней $\varepsilon_{\theta упр} = {600}/{10^5} =$ $= 0,006 = 0,6\%$.

Начальный зазор, гарантирующий свободное досылание патрона в патронник, принимается равным 1,0...2,0%. В стальных гильзах, у которых модуль упругости материала равен E=2,0·10^5 МПа, упругая деформация будет ещё меньше, чем в латунных.

Выбор гильзой начального зазора и плотное прилегание большей части её поверхности к стенке патронника до момента форсирования, т.е. до момента, когда пуля разобщится с дульцем, обеспечивает надёжную обтюрацию пороховых газов. Таким образом, обтюрирующим элементом гильзы является не дульце или скат, а верхняя часть корпуса, что подтверждается закопчённостью дульца и ската после выстрела.

К моменту форсирования радиальный зазор выбирается лишь верхней частью корпуса, и гильза отбрасывается к затвору, как правило, на всю величину начального осевого зазора η_{0x}. При значительном извлекающем усилии, большой длине корпуса, низком пределе текучести и малой толщине стенок его верхней части полное отбрасывание гильзы к затвору может и не произойти. В этом случае при возрастании давления пороховых газов (второй период) выбор осевого зазора будет происходить за счёт пластического растяжения стенок корпуса, что может привести к его поперечному разрыву.

Материалу корпуса гильзы в целях облегчения экстракции придают высокие значения предела текучести, что сопровождается существенным снижением пластичности. Вследствие этого в первый период при большом начальном зазоре, значительной разностенности и малом запасе пластичности на корпусе, скате и дульце гильзы могут образовываться продольные трещины.

Таким образом, в первом периоде выстрела должны выполняться требования обтюрации и прочности гильзы на продольный разрыв.

Второй период функционирования гильзы протекает до момента, соответствующего достижению пороховыми газами максимального давления p_m. К моменту выбора начального зазора нижней частью корпуса (за исключением небольшого участка у

дна) вся гильза оказывается в соприкосновении с каморой. Её дальнейшая деформация продолжается совместно с каморой и затвором под действием возрастающего давления пороховых газов вплоть до момента p_m. Изменяется схема напряжённого состояния: из линейной и плоской она становится объёмной.

Осевое перемещение корпуса относительно каморы при действии реакции каморы становится затруднённым вследствие возникновения на поверхности контакта значительных сил трения. Нижняя часть корпуса, расположенная у дна, более жёсткая, иногда не контактирует с поверхностью каморы (участок неприлегания), что может в таких условиях выявить значительную деформацию осевого растяжения. Эта деформация тем больше, чем больше упругая осадка узла запирания (затвора) и величина осевого зазора между дном гильзы и зеркалом затвора. В ряде случаев это обстоятельство может привести к поперечному разрыву корпуса.

Во втором периоде, в отличие от первого, существенное влияние на напряжённо-деформированное состояние корпуса, образование конечного зазора и последующую экстракцию гильзы оказывает тепловой фактор выстрела. Наиболее интенсивная теплоотдача от пороховых газов внутренней поверхности гильзы имеет место в момент, близкий к p_m. Температура внутренней поверхности гильзы достигает 800...900°С, а затем снижается. Распределение температуры по толщине стенки крайне неравномерно, что приводит к изменению напряжённо-деформированного состояния корпуса и впоследствии может существенно повлиять на его защемление в каморе после спада давления.

Третий период – совместная разгрузка гильзы и каморы. При спаде давления пороховых газов гильза, как правило, деформируется упруго и возможность образования в ней трещин исключена. Однако наряду с механической разгрузкой стенка гильзы некоторое время продолжает испытывать тепловое нагружение, которое приводит к дополнительной деформации, что может существенно повлиять на величину конечного зазора и изменить условия экстракции.

В течение всего третьего периода гильза и патронник находятся в состоянии теплового контакта. В зависимости от начальной температуры может иметь место либо передача тепла от гильзы

каморе, либо от каморы гильзе (при стрельбе очередями из разогретого ствола).

Четвёртый период функционирования гильз практически совпадает с периодом последействия пороховых газов и имеет место в том случае, когда гильза (полностью или на отдельных участках корпуса) отделяется от каморы, образуя положительный конечный зазор. Окончательное положение гильзы в каморе к моменту её экстракции определяется совокупностью её упругой разгрузки и теплового воздействия газов.

В автоматических системах при малом цикле выстрела корпус гильзы, как правило, от поверхности патронника не отделяется. В некоторых образцах экстракция производится при наличии так называемого остаточного давления газов в канале ствола.

Для наглядности схему деформирования гильзы по периодам и образования ею конечного зазора можно представить графиком, приведённым на рис. 7.16.

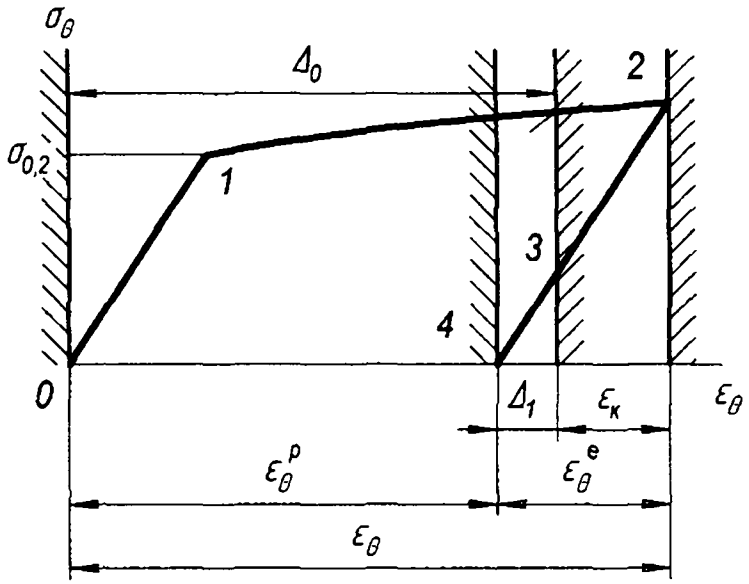


Рис.7.16. Схема деформирования гильз по периодам и образования конечного зазора

На нём обозначены: σ_θ – окружное напряжение в расчётном сечении корпуса; $\sigma_{0.2}$ – предел текучести материала гильзы; ε_θ, $\varepsilon_{\theta p}$, $\varepsilon_{\theta y}$ – окружная деформация в том же сечении: полная, оста-

точная, упругая составляющие; $\varepsilon_к$ – деформация каморы; Δ_0, Δ_1 – начальный и конечный относительный зазоры между корпусом гильзы и каморой; *0-1* – первый период (выбор начального зазора); *1-2* – второй (совместная деформация гильзы и каморы; точка *2* соответствует действию максимального давления пороховых газов; *2-3* – третий (упругая разгрузка гильзы и каморы); *3-4* – четвёртый (отделение гильзы от каморы, образование конечного зазора).

Таким образом, рассмотрение условий функционирования гильзы по периодам позволяет оценить особенности каждого из них.

В первом периоде гильза деформируется в упругопластическом состоянии. Здесь проявляются свойства гильзы обеспечить обтюрацию и прочность корпуса на продольный разрыв. Во втором периоде при совместной деформации гильзы с каморой и затвором определяется её прочность на поперечный разрыв и напряжённо-деформированное состояние, которое в условиях интенсивного теплового воздействия предопределяет последующую разгрузку корпуса, конечный зазор и экстракцию в целом. В третьем и четвёртом периодах при спаде давления пороховых газов взаимодействие механической разгрузки и теплового нагружения определяет величину конечного зазора и характер его распределения по длине корпуса гильзы к моменту экстракции.

Положительный конечный зазор по всей длине корпуса может образоваться (рис. 7.17, *а*) при малом давлении пороховых газов, высоком значении предела текучести материала гильзы, отсутствии осевого растяжения нижней части корпуса гильзы. Натяг в нижней части корпуса (рис. 7.17, *б*) может образоваться при малой жёсткости узла запирания, осевом растяжении нижней части корпуса при высоком давлении пороховых газов, натяг в верхней части корпуса (рис. 7.17, *в*) – при низком значении предела текучести верхней и средней частей корпуса, малой толщине стенки, стрельбе из разогретого патронника. Защемление гильзы по большей её длине наблюдается тогда (рис.7.17, *г*), когда одновременно имеют место условия, отмеченные в двух предыдущих случаях, а также при малой жёсткости патронника и узла запирания.

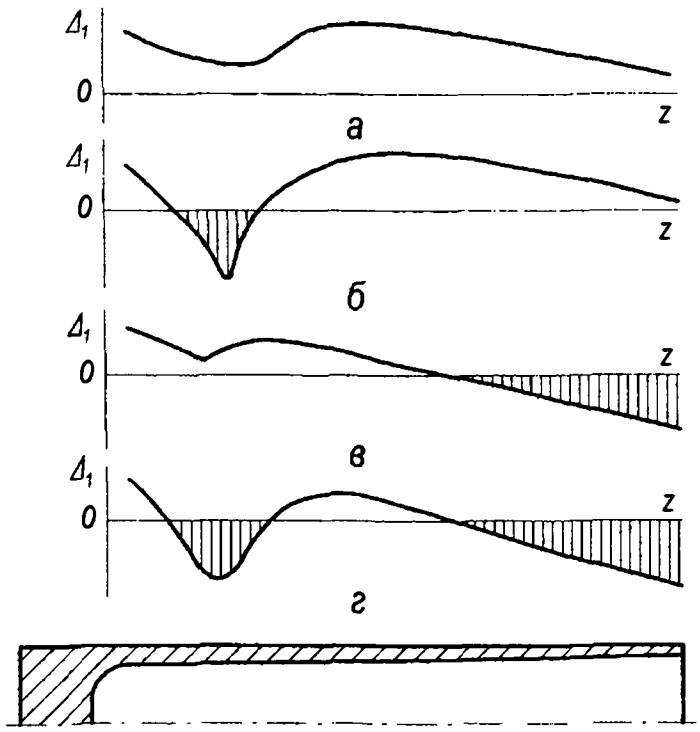


Рис. 7.17. Обобщённые графики возможного распределения конечного зазора по длине корпуса гильзы: *а* – без защемления; *б* – с защемлением придонного участка; *в* – с защемлением в верхней части корпуса; *г* – с защемлением придонного участка и верхней части корпуса

При проектировании гильзы необходимо выделить основные факторы выстрела, варьируя которыми можно в значительной мере обеспечить надёжную экстракцию гильзы, её прочность и обтюрацию пороховых газов. Эти факторы могут быть разделены на три группы:

1) факторы, определяемые гильзой (материал гильзы, его структура, механические и теплофизические свойства, конструктивные характеристики, технологические особенности изготовления, наличие и вид покрытия);

2) факторы, определяемые условиями выстрела (давление пороховых газов, характер его нарастания, продолжительность выстрела, температура пороховых газов, конструкция и свойства заряда, масса пули и способ её крепления с дульцем, величина извлекающего усилия);

3) факторы, определяемые оружием (конструктивные характеристики ствола, патронника, узла запирания, условия и режимы стрельбы).

7.5. Определение конечного зазора между гильзой и каморой после выстрела

Характер распределения конечного зазора, наличие зон, где корпус гильзы имеет натяг с поверхностью каморы, существенно влияет на усилие защемление и режим экстракции. В соответствии с приведённой на рис. 7.16 схемой деформации гильзы при её разгрузке и с учётом теплового воздействия величина относительного конечного зазора в любом сечении корпуса гильзы может быть определена следующим образом:

$$\Delta_1 = \varepsilon_{0y} - \varepsilon_к + \varepsilon_t . \qquad (7.3)$$

Упругая окружная деформация корпуса гильзы в любом ее сечении, по рекомендации А.Н. Ганичева, может быть рассчитана с использованием закона Гука, в предположении о линейной схеме напряжённого состояния – растяжения корпуса в окружном направлении при условии $\sigma_\theta = \sigma_{0\,2}$:

$$\varepsilon_{\theta y} = \frac{K_v \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_{0.2}}{E_г}, \qquad (7.4)$$

где K_v – коэффициент, учитывающий влияние скорости деформации при выстреле на предел текучести материала, K_v=1,15…1,30 – для стальных гильз, K_v=1,25…1,40 – для латунных гильз; K_1– коэффициент, учитывающий влияние дна на деформацию придонного участка; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние величины максимального давления пороховых газов (рис. 7.18); $E_г$ – модуль упругости материала гильзы; $\sigma_{0.2}$ – предел текучести материала гильзы.

Упругая деформация каморы $\varepsilon_к$ определяется по формуле Лямэ:

$$\varepsilon_к = \frac{2}{3} \cdot \frac{p_m}{E_к} \left(\frac{2a^2 + 1}{a^2 - 1} \right), \qquad (7.5)$$

где $a = D_к^н / D_к^в$ – относительная толщина каморы; $E_к$ – модуль упругости ее материала.

При выборе коэффициентов K_1 и K_2 необходимо учитывать сечение неприлегания гильзы к каморе при выстреле, расположенное в нижней части корпуса на расстоянии l_0 от внутренней

поверхности дна (рис. 7.19): $l_0 = (1{,}0 \ldots 1{,}5)r$ – для латунных гильз; $l_0 = (1{,}1 \ldots 1{,}8)r$ – для стальных.

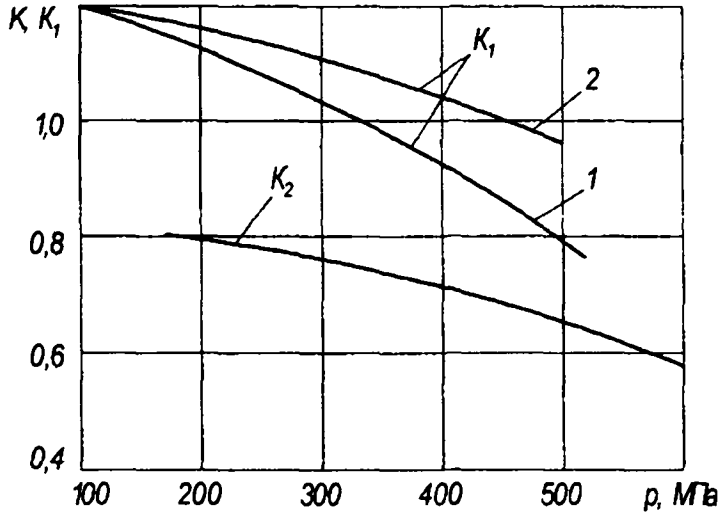


Рис. 7.18. Зависимость коэффициентов K_1 и K_2 от давления пороховых газов p для гильз: *1* – из стали; *2* – из латуни

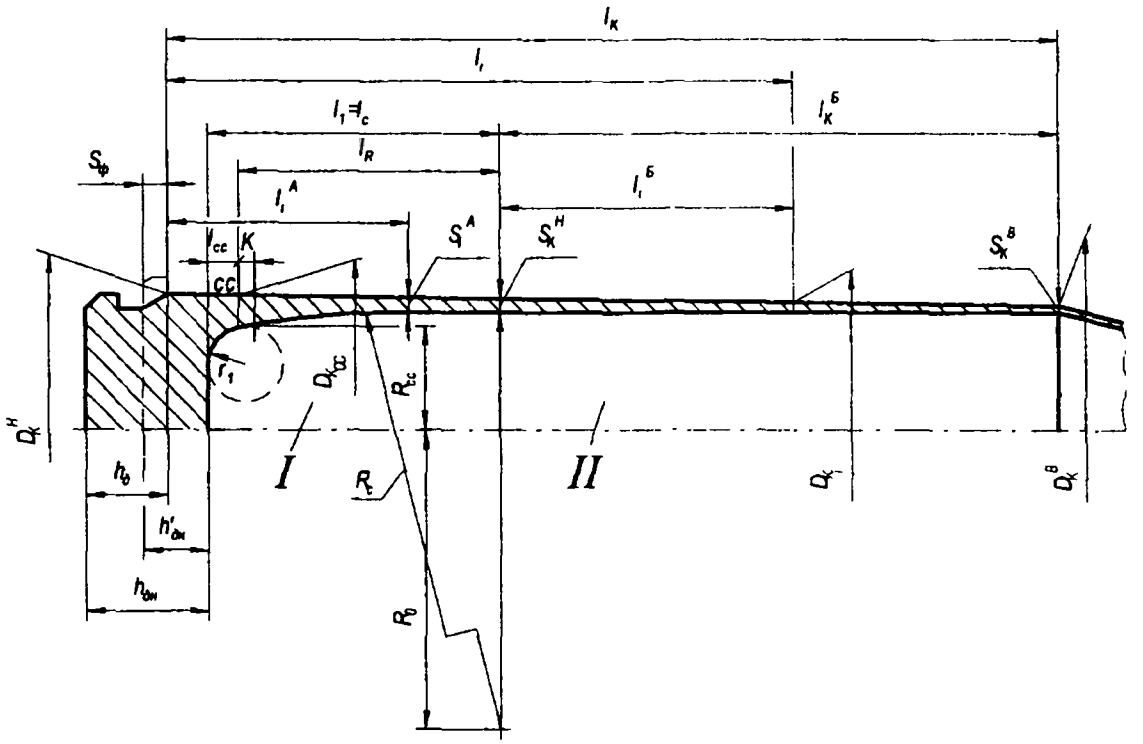


Рис. 7.19. Расчётная схема гильзы для определения конечного зазора

Меньшее значение коэффициента K_1 соответствует сечению неприлегания и принимается постепенно возрастающим, дости-

гая единицы на границе моментного и безмоментного участков:

$$l_1 \approx 2{,}5\sqrt{\frac{D_г}{2} \cdot S_г}\,, \qquad (7.6)$$

где $D_г$, $S_г$ – диаметр и толщина гильзы придонного участка, соответственно.

Минимальное значение коэффициента K_2 для заданного p_m также соответствует сечению неприлегания и постепенно увеличивается до единицы к границе моментного и безмоментного участков.

Температурная деформация определяется так:

$$\varepsilon_t = a_л\left(t^o_{p_m} - t^o_{экс}\right), \qquad (7.7)$$

где $a_л$ – коэффициент линейного расширения; $a_л = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ 1/град – для стали; $a_л = 1{,}9 \cdot 10^{-5}$ 1/град – для латуни; $t^o_{p_m}$, $t^o_{экс}$ – средняя по толщине стенки температура в момент действия максимального давления и в момент экстракции соответственно. Значения этих температур устанавливается расчётом температурного поля стенок гильзы.

Метод А.Н. Ганичева исходит из линейной схемы напряжённого состояния и может быть использован для поверочных расчётов уже разработанных конструкций гильз, как правило, больших калибров.

Анализ основных периодов функционирования гильзы при выстреле показывает, что схема напряжённого состояния в первый период существенно отличается от схемы взаимодействия напряжений во второй и третий периоды. Из линейной и плоской с преобладанием растягивающих напряжений в начале выстрела она становится объёмной с преобладанием сжатия при достижении максимального давления пороховых газов и последующей упругой разгрузке.

Метод расчёта н.д.с. корпуса гильзы и определения конечного зазора с учётом объёмной схемы напряжённого состояния, предложенный М.И. Свердловым, также учитывает краевой эффект влияния дна гильзы на деформацию прилегающего участка корпуса.

Из условий функционирования гильзы известно, что отдельные участки корпуса находятся в различном напряжённом состоянии. Участок *I*, прилегающий к дну (см. рис. 7.19), вследствие упругой осадки узла запирания и защемления остальной части корпуса претерпевает осевое растяжение. Здесь действуют моменты сопротивления, усиливающие жёсткость этого участка (краевой эффект) относительно радиального перемещения стенки.

Большая часть корпуса (участок *II*), не связанная с дном, является безмоментной, податливой, нежёсткой. Во второй и третий периоды функционирования этот участок плотно прилегает к поверхности каморы и силы трения, действующие на поверхности контакта гильзы и каморы, исключают его осевое растяжение. Граница моментного и безмоментного участков устанавливается расчётом по формуле (7.6).

Конечный диаметральный относительный зазор между гильзой и каморой к моменту экстракции определяется формулой, предложенной А.Н. Ганичевым:

$$\Delta_1 = \varepsilon_{\theta y} - \varepsilon_{\kappa} + \varepsilon_t .$$

Методика М.И. Свердлова предлагает определять упругую составляющую разгрузки гильзы с учётом объёмной схемы напряжённого состояния в соответствии с обобщённым законом Гука:

$$\varepsilon_{\theta y} = \frac{\sigma_\theta}{E} - \frac{\mu}{E}(\sigma_r + \sigma_x). \qquad (7.8)$$

Напряжения σ_θ, σ_r, σ_x рассчитывают в каждом сечении гильзы, для чего её делят на n-е количество поясов с выделением сечения сопряжения (СС) моментного (*I*) и безмоментного (*II*) участков. Принимается, что σ_θ, σ_r, σ_x – главные напряжения.

Радиальное напряжение в стенке гильзы определяется логическим соотношением

$$\sigma_r = -(p_m - p_\Gamma) = -p', \qquad (7.9)$$

где p_Γ – давление пороховых газов, при котором корпус гильзы (рассматриваемое сечение) выбирает начальный зазор.

К сечению сопряжения непосредственно примыкает моментный участок корпуса, сопрягаемый с дном гильзы. Влияние дна учитывается введением в расчёт краевых нагрузок: поперечной силы Q_0 и изгибающего момента M_0, определяющих жёсткость и

влияющих на сопротивляемость моментного участка корпуса пластическому деформированию:

$$p_{\text{г}} = \left(K_v \cdot \sigma_{0.2} - \frac{N_\theta}{S} \right) \left(\ln \frac{D_{\text{к}}}{d_{\text{к}}} + \frac{Q_x'}{K_v \cdot \sigma_{0.2} - \frac{N_\theta}{S}} \right), \qquad (7.10)$$

где $D_{\text{к}}$, $d_{\text{к}}$ – наружный и внутренний диаметры корпуса гильзы в рассматриваемом сечении; N_θ – окружное погонное усилие; S – толщина стенки корпуса в рассматриваемом сечении; Q_x' – первая производная от поперечного погонного усилия.

N_θ и Q_x' определяются по моментной теории для оболочки, сопряжённой с дном и нагруженной внутренним давлением:

$$N_\theta = 2kR_{\text{cc}}Q_0 \cdot e^{-kx} \cdot \cos kx + 2k^2 R_{\text{cc}} M_0 \cdot e^{-kx} (\cos kx - \sin kx);$$

$$Q_x' = 2k^2 M_0 \cdot e^{-kx} (\sin kx - \cos kx) - 2kQ_0 e^{-kx} \cdot \cos kx,$$

где Q_0 и M_0 – значения погонных поперечной силы и момента в сечении сопряжения (СС);

$$Q_0 = \frac{p_m}{4K} \cdot \frac{(1-\mu) - f_1(2-\mu)}{f_2 + \frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{(f_1^2 - 1)^2}{2(f_2^3 + \sqrt{f_1})}};$$

$$M_0 = -Q_0 \frac{\sqrt{f_1}(f_1^2 - 1)}{2K(f_1^2 \sqrt{f_1} + 1)},$$

где $f_1 = S_{\text{дн}} / S_{\text{cc}}$; $K = \dfrac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{D_{\text{cc}}/2 \cdot S_{\text{cc}}}}$ – коэффициент затухания краевого эффекта для цилиндра с дном.

Расчёт значений $p_{\text{г}}$ по формуле (7.10) ведётся последовательно по поясам, определяемым расстоянием x от сечения сопряжения (СС) и заканчивается в том сечении, в котором влияние краевого эффекта затухает, т.е. где N_θ и Q_x' становятся равными нулю и формула (7.10) для безмоментного участка принимает вид

$$p_{\text{г}} = K_v \cdot \sigma_{0.2} \cdot \ln \frac{D_{\text{к}}}{d_{\text{к}}}. \qquad (7.11)$$

Расчётом значений $p_г$ устанавливается и то сечение, где $p_г = p_m$ и $\sigma_r = -(p_m - p_г) = 0$. Оно является сечением неприлегания (с.н.), и все дальнейшие расчёты удобно проводить, координируя пояса от этого сечения.

Осевое напряжение σ_x определяется по формуле

$$\sigma_x = \frac{N_x - P_{тр_i}}{F_i}, \qquad (7.12)$$

где N_x – осевое растягивающее усилие, действующее в сечении неприлегания (с.н.); $P_{тр.i}$ – сила трения, действующая по наружной поверхности участка от с.н. до рассматриваемого сечения x_i; F_i – площадь поперечного сечения корпуса гильзы в том же сечении;

$$N_x = K_{у.з} \cdot K_v \cdot \sigma_{0.2} \cdot F_{сн}, \qquad (7.13)$$

где $K_{у.з}$=0,55…0,75 – коэффициент, характеризующий жёсткость затвора; $\sigma_{0.2}$ – предел текучести в с.н.; $F_{сн}$ – площадь поперечного с.н.

Сила трения по корпусу на участке до сечения x определяется суммированием усилий трения на предыдущих (до расчётного) поясах Δx:

$$P_{тр_i} = \sum_{i=1}^{n} p' \cdot \pi D_к \cdot \Delta x \cdot f_{тр}, \qquad (7.14)$$

где p' рассчитывается по формуле (7.9); $f_{тр}$ – коэффициент трения гильзы о поверхность каморы.

Из энергетического условия пластичности определяется тангенциальное напряжение

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_x + \sigma_r}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{4(K_v \cdot \sigma_{0.2})^2 - 3(\sigma_x - \sigma_r)^2}. \qquad (7.15)$$

На втором (II) безмоментном участке было показано, что осевая деформация к моменту действия максимального давления равна нулю, ε_x=0. Поэтому для плоской деформации условие пластичности будет иметь вид

$$\sigma_\theta - \sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} K_v \sigma_{0.2}, \qquad (7.16)$$

откуда с учётом (7.9) получим

$$\sigma_\theta = \frac{2}{\sqrt{3}} K_v \sigma_{0.2} - p'. \qquad (7.17)$$

В этом случае осевое напряжение σ_x будет равняться среднему арифметическому значению:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_\theta + \sigma_r}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}} K_v \sigma_{0.2} - p'. \qquad (7.18)$$

При расчёте напряжения σ_x по формулам (7.12) и (7.18) устанавливается граница моментного и безмоментного (где ε_x=0) участков. Она отвечает тому сечению, где значения σ_x, установленные по (7.12) и (7.18), совпадут.

По найденным значениям главных напряжений строятся графики их распределения по всей длине корпуса гильзы. Затем с использованием обобщённого закона Гука определяется значение упругой разгрузки гильзы $\varepsilon_{\theta y}$ (7.8), которая, в сумме с тепловой деформацией ε_t (7.7) и деформацией каморы (7.5), устанавливает значение конечного зазора Δ_1 (7.3) в каждом расчётном сечении. После расчётов строится график $\Delta_1=\Delta_1(x)$, используя который при наличии натяга можно определить усилие защемления гильзы.

На рис.7.20 показано распределение главных напряжений и конечного зазора вдоль корпуса стальной гильзы к патрону автоматической пушки клб. 30 мм.

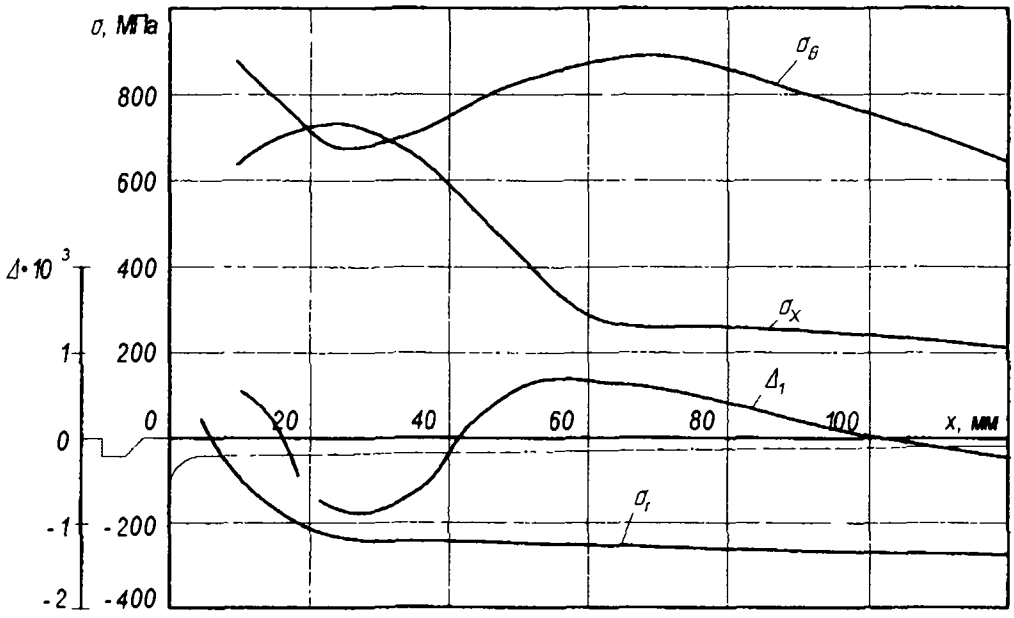


Рис. 7.20. Распределение главных напряжений и конечного зазора по длине корпуса стальной гильзы

Расчёт усилия защемления гильзы базируется на анализе графика распределения конечного зазора (натяга) по длине гильзы. Защемленные участки корпуса, т.е. участки с натягом – отрицательным конечным зазором – разбиваются на n расчётных поясов, в пределах которых реакция каморы и сила трения принимаются средними значениями. Полное усилие защемления определяется по формуле

$$R_{\text{защ}} = \sum_{1}^{n} \pi D_{\text{к}_i} \Delta l_i p_{\text{к}} \cdot f_{\text{тр}}, \tag{7.19}$$

где Δl_i – длина расчётного пояса; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения между гильзой и каморой; $p_{\text{к}}$ – реакция каморы (к моменту экстракции);

$$p_{\text{к}} = \frac{3}{2} \frac{|\Delta_1|(2-m)m}{E(3-4m)}; \tag{7.20}$$

где $|\Delta_1|$ – абсолютное значение натяга в среднем сечении каждого пояса; $m = 2S_i / D_{\text{к}_i}$ – относительная толщина стенки гильзы в среднем сечении пояса.

При расчёте характеристик процесса экстракции необходимо знать зависимость усилия защемления от смещения гильзы в патроннике, т.е. зависимость $R=R(x)$. Усилие R, вследствие конусности корпуса и постепенного извлечения гильзы за пределы каморы, будет падать до нуля.

Смещение $X_{R=0}$, отвечающее полному снятию натяга, определяется по формуле

$$X_{R=0} = \frac{|\Delta_1|_{\max} \cdot D_{\text{к}}}{2\text{tg}\beta}, \tag{7.21}$$

где $|\Delta_1|_{\max}$ – максимальный натяг между гильзой и каморой к началу экстракции; β – угол конусности корпуса гильзы.

Для построения графика зависимости $R=R(x)$, исходя из величины $X_{R=0}$, задаются обычно двумя-тремя промежуточными расчётными смещениями $X_{R=0}>X_i>0$, по которым определяют соответствующие им новые (уменьшенные) значения натяга:

$$|\Delta_1|_{x_i} = |\Delta_1| - \frac{2x_i}{D_{\text{к}}}\text{tg}\alpha. \tag{7.22}$$

Затем по формуле (7.20) рассчитывают новые значения $p_{\text{к}}$ и по

формуле (7.19) – текущее усилие R_{xi}. По найденным значениям R_{xi} строится график $R=R(x)$, приведённый на рис. 7.21, необходимый для последующего расчёта характеристик процесса экстракции.

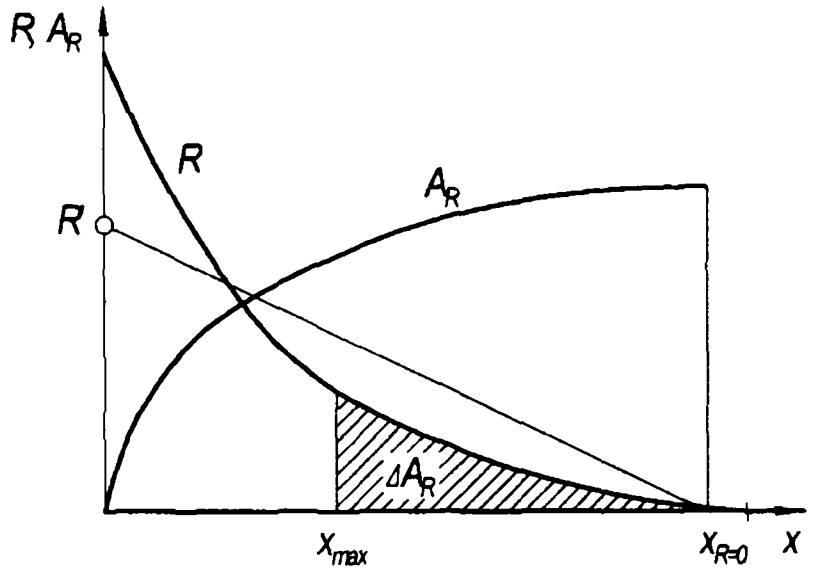


Рис. 7.21. Зависимость усилия защемления R и работы защемления A_R гильзы от смещения X

Работа по преодолению силы трения при извлечении гильзы из каморы равна площади, находящейся под кривой $R=R(x)$.

7.6. Расчёт прочности гильзы при выстреле

Прочность, как и надёжность экстракции, – одно из основных требований, предъявляемых к гильзе. В процессе эксплуатации при неблагоприятных условиях выстрела или при наличии дефектов конструкции может иметь место различного вида разрушение гильзы: продольные трещины по корпусу, скату или дульцу, поперечные трещины – обычно в нижней части корпуса и в редких случаях у ската и дульца, срез фланца и весьма редко – трещины по дну. Перечисленные виды разрушения вызываются многими причинами и проявляются в различные периоды выстрела.

Методы расчёта прочности основываются на анализе схемы напряжённого состояния отдельных элементов гильзы, особенностей процесса их деформации и надёжных критериях прочности. Существующие классические теории прочности для случая ко-

нечных пластических деформаций устанавливают лишь условие перехода материала в пластическое состояние, а не условие разрушения.

Сильно упрочнённые элементы гильзы (в основном корпуса), перейдя при выстреле в пластическое состояние, не выявляют заметного увеличения интенсивности напряжений, что затрудняет определение момента, предшествующего разрушению. Это обстоятельство вынуждает в качестве критерия прочности принимать не напряжения, а предельные деформации, т.е. исходить из деформационных критериев. Эти критерии позволяют производить необходимые измерения и с достаточной точностью регистрировать и ограничивать деформацию.

К факторам, определяющим возможность разрушения, относятся следующие:

– конструктивные особенности гильзы (бутылочность, конусность корпуса, относительная толщина стенки и дна и т.д.);

– степень упрочнения материала и запас пластичности;

– величина осевых и диаметральных зазоров;

– характер и интенсивность нагружения давлением пороховых газов;

– размеры и форма патронника, жёсткость узла запирания;

– технологические дефекты изготовления (разностенность, царапины, вмятины).

Конструктивные особенности формы гильзы и характер нагружения внутренним давлением определяют некоторую особенность её деформации, связанную с понятием устойчивости процесса. При выборе начального зазора и нагружения корпуса гильзы давлением пороховых газов происходит увеличение окружных напряжений не только из-за непрерывного интенсивного возрастания давления, но и как результат уменьшения толщины стенки при растяжении корпуса. Это следует из формулы, определяющей окружное напряжение в безмоментном участке корпуса после перехода материала за предел текучести:

$$\sigma_\theta = \frac{p \cdot D_к}{2S}.$$

По достижении материалом корпуса предела текучести ($\sigma_\theta \geq \geq \sigma_{0.2}$) последующая деформация может происходить во времени

не только при постоянном, но и при уменьшающемся внутреннем давлении вплоть до момента разрушения. Поэтому при отсутствии каморы или при значительном начальном зазоре состояние равновесия корпуса оказалось бы неустойчивым. Отсюда вытекает необходимость в определении предельно допустимой деформации, предшествующей её локализации с образованием шейки в отдельных элементах гильзы, и сопоставлении её с деформацией, которая реализуется при выстреле.

Поэтому общее условие прочности гильзы заключается в том, что предельная остаточная деформация, которую может выявить рассматриваемый элемент гильзы до момента её локализации, должна превосходить деформацию, которую предстоит претерпеть этому элементу в условиях выстрела, т.е. при выборе радиального и осевого зазоров и упругих перемещений каморы и затвора.

7.6.1. Расчёт прочности корпуса гильзы на продольный разрыв

В первый период выстрела при выборе гильзой начального зазора её корпус можно представить как тонкостенную оболочку с донья-ми, находящуюся под воздействием пороховых газов. В такой модели первым главным напряжением является окружное σ_θ, а средним – осевое $\sigma_r = 0{,}5\sigma_\theta$. Поэтому наибольшая деформация растяжения будет окружная, переход которой за пределы устойчивой может привести к образованию продольной трещины. Сказанное означает, что основными факторами, определяющими прочность корпуса на продольный разрыв, являются большая разностенность, малая пластичность материала и большой начальный радиальный зазор.

Первые два из названных факторов непосредственно связаны с технологией изготовления гильз, совершенствование которой способствует повышению надёжности функционирования гильз при выстреле. Имеется в виду использование резервов по уменьшению разностенности и получение высоких характеристик сопротивляемости материала при сохранении определённого запаса пластичности. Третий из основных факторов, влияющий на продольную прочность корпуса, – величина начального зазора –

должен назначаться по результатам совместного расчёта на экстракцию и прочность. Начальный зазор должен приниматься достаточно малым, в пределах 0,8...1,0% диаметра, максимальное его значение не должно превышать 2%.

Методика расчёта продольной прочности, предложенная А.Н. Ганичевым, базируется на положениях о схеме линейного растяжения корпуса гильзы при выстреле и линейности изменения толщины стенки по периметру гильзы (разностенность). В сечении с минимальной толщиной допускается деформация, равная предельно устойчивой, отвечающей исходному состоянию материала гильзы перед выстрелом. Толщина стенки S в любом сечении на полупериметре корпуса длиной $\pi \cdot R$ определяется зависимостью

$$S = S_{\min} + \Delta S \frac{l}{\pi \cdot R}, \tag{7.23}$$

где $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$ – разностенность; l – длина дуги от сечения $S_{\min}$ до расчётного сечения.

Оптимальным условием к моменту выбора гильзой начального зазора является такое, при котором весь периметр разностенного корпуса охвачен пластичной деформацией. Это условие может быть записано в виде

$$B = \frac{\sigma_y}{\sigma_{0.2}} \geq \lambda, \tag{7.24}$$

где $\sigma_y = \sigma_t\left(1 + \varepsilon_y\right)$, ε_y – устойчивая деформация материала гильзы при растяжении; $\lambda = S_{\max} / S_{\min}$ – показатель разностенности.

Средняя окружная деформация, которая может быть выявлена разностенным корпусом без образования шейки, определяется по формуле

$$\varepsilon_{\theta_{ср}} = \varepsilon_\theta + \varepsilon_{\theta_y}. \tag{7.25}$$

Остаточная окружная деформация ε_θ рассчитывается как

$$\varepsilon_\theta = \varepsilon_y \frac{B^2 \frac{1}{\lambda} - 2B \frac{S}{\Delta S} \cdot \ln\lambda + 1}{(B-1)^2}, \tag{7.26}$$

а упругая составляющая $\varepsilon_{\theta\,упр}$

$$\varepsilon_{\theta упр} = \frac{B \cdot \sigma_{0.2}}{E} \cdot \frac{S_{min}}{\Delta S} \cdot \ln \lambda . \qquad (7.27)$$

Указанная методика позволяет определять предельное (до образования шейки) значение средней окружной деформации разностенного корпуса, которая и устанавливает выполнение условия прочности:

$$\varepsilon_{\theta\Sigma} \geq K\Delta_0, \qquad (7.28)$$

где K=1,10...1,20 – коэффициент запаса прочности.

Методика расчёта продольной прочности корпуса, предложенная М.И. Свердловым, кроме среднего значения окружной деформации, устанавливает закономерность её распределения вдоль периметра разностенного корпуса при нелинейном изменении его толщины.

На рис. 7.22 показано поперечное сечение разностенного корпуса гильзы до деформации. Сечение A имеет минимальную толщину стенки (S_{0A}=S_{min}), сечение B – максимальную (S_{0B}=S_{min}).

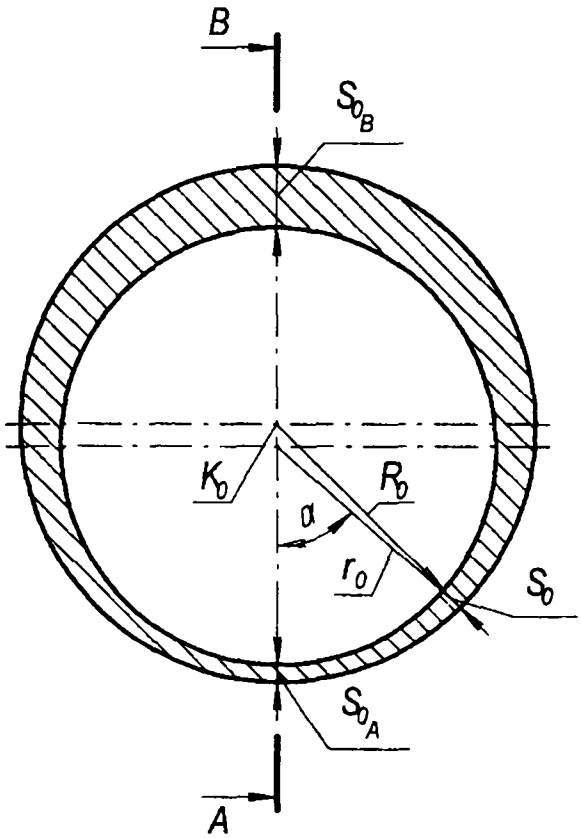


Рис. 7.22. Поперечное сечение разностенного корпуса гильзы

Основные положения этой методики сводятся к следующему:

– материал корпуса однороден по толщине и периметру;

– разностенность корпуса определяется показателем $\lambda = S_{max} / S_{min} > 1$;

– закон изменения толщины по периметру в функции угловой координаты α описывается зависимостью

$$f(\alpha) = \frac{S_{0A}}{S_{0\alpha}} = \frac{2}{(\lambda+1)-(\lambda-1)\cos\alpha}, \qquad (7.29)$$

где $S_{0\alpha}$ – исходная толщина стенки в любом сечении с координатой α;

– закон упрочнения наклёпанного (исходного) материала аппроксимируется функцией

$$\sigma_i = \sigma_{0.05} + \sqrt{A \cdot \varepsilon_i}, \qquad (7.30)$$

где $\sigma_{0.05}$ – условный предел упругости; $A = \frac{\sigma_y - \sigma_{0\,2}}{\varepsilon_y - 0{,}002}$ – характеристика упрочнения материала; $\sigma_y = \sigma_в(1+\varepsilon_y)$ – истинный предел прочности; ε_y – устойчивая до момента образования шейки логарифмическая деформация при испытании образца на растяжение.

При выборе начального зазора корпус гильзы деформируется в условиях плоского напряжённого состояния (тонкостенный цилиндр с доньями), т.е. $\sigma_\theta > 0$, $\sigma_x = 0{,}5\sigma_\theta$, $\sigma_r = 0$.

Условие прочности корпуса определяется потерей устойчивости деформации, когда её окружная остаточная составляющая в сечении с минимальной толщиной стенки становится равной предельному устойчивому значению, т.е.

$$\varepsilon_{\theta max} \le \varepsilon_y. \qquad (7.31)$$

Прочность корпуса на продольный разрыв обеспечивается в том случае, если сумма средних окружных деформаций (остаточной и упругой) будет больше начального зазора:

$$\left(\varepsilon_\theta + \varepsilon_{\theta упр}\right)_{ср} > K\Delta_0, \qquad (7.32)$$

$$\varepsilon_{\theta ср} > K\Delta_0.$$

В тонкостенном корпусе, находящемся под действием внутреннего давления, имеет место равенство окружного погонного

усилия в любом меридиональном сечении (рис. 7.23):

$$N_\theta = \sigma_{\theta A} \cdot S_A = \sigma_{\theta\alpha} \cdot S_\alpha, \qquad (7.33)$$

где индекс A соответствует сечению с $S_{min}=S_A$; $\sigma_{\theta\alpha}$, S_α – окружное напряжение и текущая толщина стенки в любом сечении с угловой координатой α. Для плоской деформации $\varepsilon_x=0$, $\varepsilon_\theta = -\varepsilon_r$.

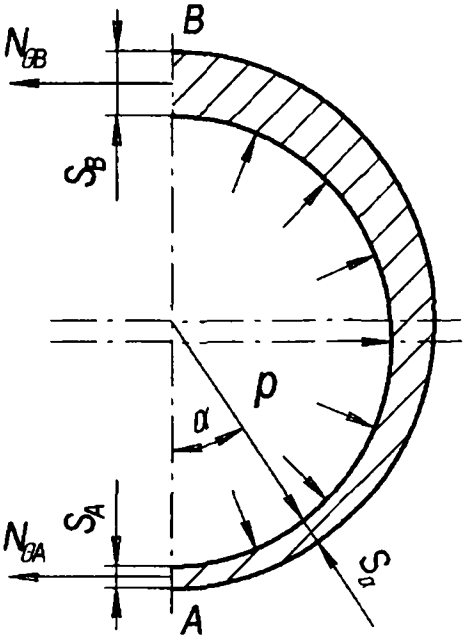


Рис. 7.23. Схема действия сил в поперечном сечении разностенного корпуса гильзы

Радиальный компонент деформации в сечении A $\varepsilon_{r_A} = \ln S_A / S_{0A}$, в сечении α $\varepsilon_{r\alpha} = \ln S_\alpha / S_{0\alpha}$.

Тогда текущую толщину стенки в любом сечении можно выразить через тангенциальный компонент деформации и уравнение (7.33) примет вид

$$\sigma_{\theta\alpha} \cdot e^{-\varepsilon_{\theta A}} \cdot S_{0A} = \sigma_{\theta\alpha} \cdot e^{-\varepsilon^{\theta\alpha}} \cdot S_{0\alpha}. \qquad (7.34)$$

В силу малости толщины стенки корпуса можно считать $\sigma_\theta=\beta\sigma_i$, а уравнение (7.34) с учётом аппроксимации (7.30) и эквивалентности интенсивности деформации $\varepsilon_i=\beta\varepsilon_\theta$ преобразуется следующим образом:

$$\sigma_{iA} S_{0A} \cdot e^{-\varepsilon_{\theta A}} = \left(\sigma_{0.05} + \sqrt{A \cdot \beta \cdot \varepsilon_{\theta\alpha}}\right) S_{0\alpha} \cdot e^{-\varepsilon_{\theta\alpha}}. \qquad (7.35)$$

К моменту потери устойчивости корпуса, когда в наиболее тонком сечении A остаточная окружная деформация $\varepsilon_{\theta A}$ достигнет предельного значения ε_y, уравнение (7.35) перепишется так:

$$\sigma_y \cdot S_{0A} \cdot e^{-\varepsilon_y} = \left(\sigma_{0.05} + \sqrt{A \cdot \beta \cdot \varepsilon_{\theta\alpha}}\right) S_{0\alpha} \cdot e^{-\varepsilon_{\theta\alpha}}. \qquad (7.36)$$

После деления обеих частей полученного равенства на $S_{0\alpha} \cdot e^{-\varepsilon_\theta}$ с использованием функции (7.29) получаем

$$\sigma_y f(\alpha) e^{\varepsilon_{\theta\alpha} - \varepsilon_y} = \left(\sigma_{0.05} + \sqrt{A \cdot \beta \cdot \varepsilon_{\theta\alpha}}\right). \qquad (7.37)$$

Отсюда

$$\varepsilon_{\theta\alpha} = \frac{\left(\sigma_y \cdot f(\alpha) e^{\varepsilon_{\theta\alpha} - \varepsilon_y} - \sigma_{0.05}\right)}{A \cdot \beta}. \qquad (7.38)$$

Для сечения A с минимальной толщиной стенки, в котором

$\varepsilon_{\theta A}=\varepsilon_y$ и $f(\alpha)=1$,

$$\varepsilon_y=\frac{(\sigma_y-\sigma_{0.05})^2}{A\cdot\beta}.$$

Принимая по зависимостям (7.37) и (7.38) отношение $\varepsilon_{\theta\alpha}/\varepsilon_y$ и используя обозначение $B=\sigma_y/\sigma_{0.05}$, после преобразования получим

$$\varepsilon_{\theta\alpha}=af^2(\alpha)e^{2\varepsilon_{\theta\alpha}}-bf(\alpha)e^{\varepsilon_{\theta\alpha}}+c, \qquad (7.39)$$

где $a=c\frac{B}{e^{2\varepsilon_y}}$; $b=\frac{2B}{e^{\varepsilon_y}}$; $c=\frac{\varepsilon_y}{(B-1)^2}$.

Вследствие малости деформации $\varepsilon_{\theta\alpha}$ в наклёпанном состоянии корпуса гильзы, используя разложение функций $e^{2\varepsilon_{\theta\alpha}}$ и $e^{\varepsilon_{\theta\alpha}}$ в степенной ряд по степеням $\varepsilon_{\theta\alpha}$ и ограничиваясь двумя членами ряда, получаем

$$\varepsilon_{\theta\alpha}\left[1-2af^2(\alpha)+bf(\alpha)\right]=af^2(\alpha)-bf(\alpha)+c, \qquad (7.40)$$

откуда окончательное выражение, определяющее значение окружной остаточной деформации в любом меридиональном сечении разностенного корпуса с координатой α, будет иметь вид

$$\varepsilon_{\theta\alpha}=\frac{af^2(\alpha)-bf(\alpha)+c}{1-2f^2(\alpha)+bf(\alpha)}. \qquad (7.41)$$

Формула (7.41) описывает закон распределения окружной деформации по периметру разностенного корпуса в зависимости от механических свойств материала гильзы ε_y, $B=\sigma_y/\sigma_{0.05}$, показателя разностенности $\lambda=S_{\min}/S_{\max}$ и закономерности изменения толщины стенки $f(\alpha)$.

Для наклёпанного материала гильзы величина ε_y может быть определена по графику рис. 7.24, а B – по графику рис.7.25. По заданным значениям $S_{\min}$, $S_{\max}$, λ, $\sigma_в$ в любом сечении полукольца $0\le\alpha\le\pi$ по формуле (7.41) рассчитывается остаточная деформация $\varepsilon_{\theta\alpha}$. Затем устанавливается среднеинтегральная окружная деформация всего корпуса:

$$\varepsilon_{\theta ср}=\frac{\int_0^{\pi}\varepsilon_{\theta\alpha}\cdot d\alpha}{\pi}, \qquad (7.42)$$

которая представляет собой предельное значение относительного

остаточного увеличения диаметра разностенного корпуса, которое может быть допущено без образования локального утонения в сечении с минимальной толщиной стенки S_{max}.

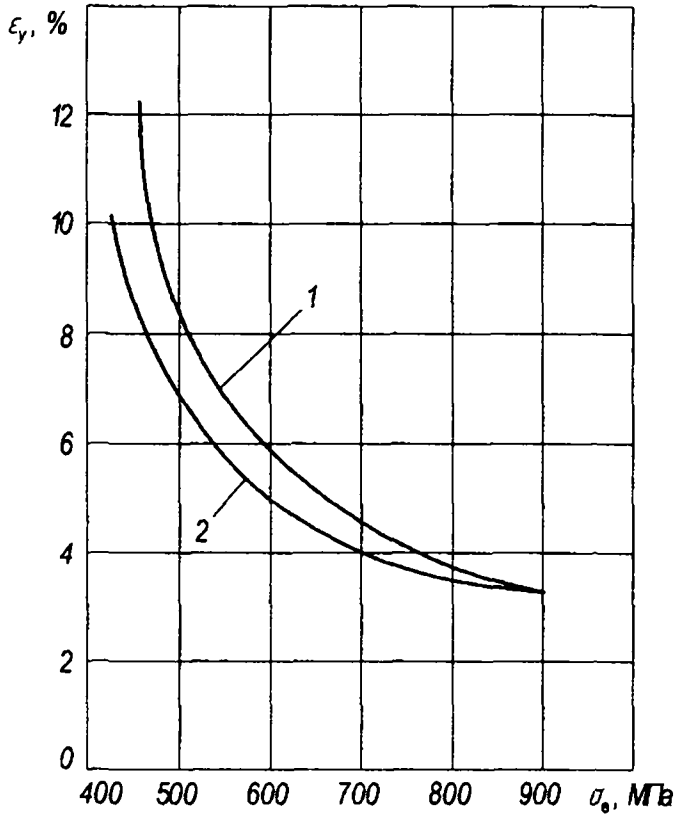


Рис. 7.24. Зависимость ε_y от предела прочности наклёпанного материала гильзы $\sigma_в$: *1* – латунь; *2* – сталь

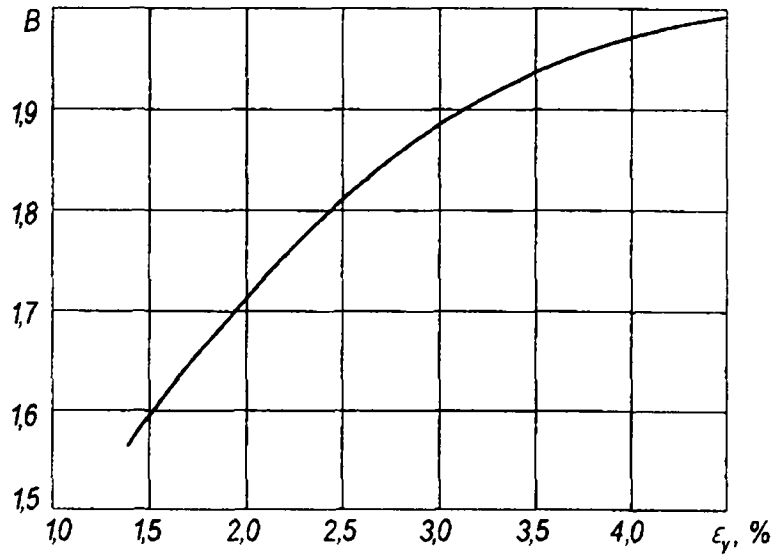


Рис. 7.25. Зависимость показателя *B* от устойчивой деформации ε_y гильзовых материалов

Для определения общей окружной деформации разностенного корпуса необходимо рассчитать упругую составляющую

$$\varepsilon_{\theta уп} = \frac{\sigma_y}{2E}\left(1+\frac{1}{\lambda}\right). \qquad (7.43)$$

Общая окружная деформация разностенного корпуса

$$\varepsilon_{\theta\Sigma} = \varepsilon_{\theta cc} + \varepsilon_{\theta уп}. \qquad (7.44)$$

Условие прочности корпуса на продольный разрыв –

$$\varepsilon_{\theta\Sigma} \geq K\Delta_0. \qquad (7.28)$$

из которого может быть установлен максимально допустимый начальный зазор

$$\Delta_{0\max} \leq \frac{\varepsilon_{\theta\Sigma}}{K}. \qquad (7.45)$$

При назначении допуска на разностенность следует учитывать номинальную толщину стенки S_{max} исходя из эксплуатационных требований и технологических возможностей. Для примера можно руководствоваться следующими предельными значениями λ_{max}: при толщине стенки S_{max} до 0,8 мм λ_{max}=1,25...1,30; при S_{max} = 0,8...1,2 мм λ_{max}=1,30; при S_{max}=1,2...1,5 мм λ_{max}=1,20...1,25 и т.д.

Пример 7.1. Определить предельно допустимый начальный зазор и проверить возможность функционирования гильзы без образования продольных трещин при двух вариантах по разностенности с показателями λ_1=1,20; λ_2=1,29, при $\sigma_в$=780 МПа; E=2,1·10^5 МПа, S_{max}=1,80 мм.

Решение. Расчёт проводят в следующем порядке. По $\sigma_в$=780 МПа находим ε_y=0,024 (см. рис.7.24) и B=1,77 (см. рис.7.25). Полупериметр корпуса разбивается на шесть участков (каждый с центральным углом $\alpha=\pi/6$), начиная с сечения, где S_{min} (α=0), до сечения, где S_{max} ($\alpha=\pi$). Для каждого сечения определяется значение остаточной тангенциальной деформации по формуле (7.41) и строится график ее распределения вдоль развёртки полукольца (рис.7.26). При λ_1=1,20, S_{min}=1,80/1,20=1,5 мм разностенность ΔS=0,3 мм; при λ_2=1,29, S_{min}=1,4 мм ΔS=0,4 мм.

Из графиков рис.7.26 видно, что максимальная окружная деформация сосредоточена в сечении с минимальной толщиной (α=0) и уменьшается к сечению, где S_{max} ($\alpha=\pi$). Пластической де-

формацией охвачен весь периметр корпуса в обоих случаях. При показателе разностенности λ_2=1,29 остаточная тангенциальная деформация в сечений с S_{max} составляет лишь пятую часть деформации, которую может выявить сечение с S_{min}. Средняя окружная остаточная деформация составляет: при λ_1=1,20 $\varepsilon_{\theta ср}$=0,0153, а при λ_2=1,29 – $\varepsilon_{\theta ср}$=0,0128.

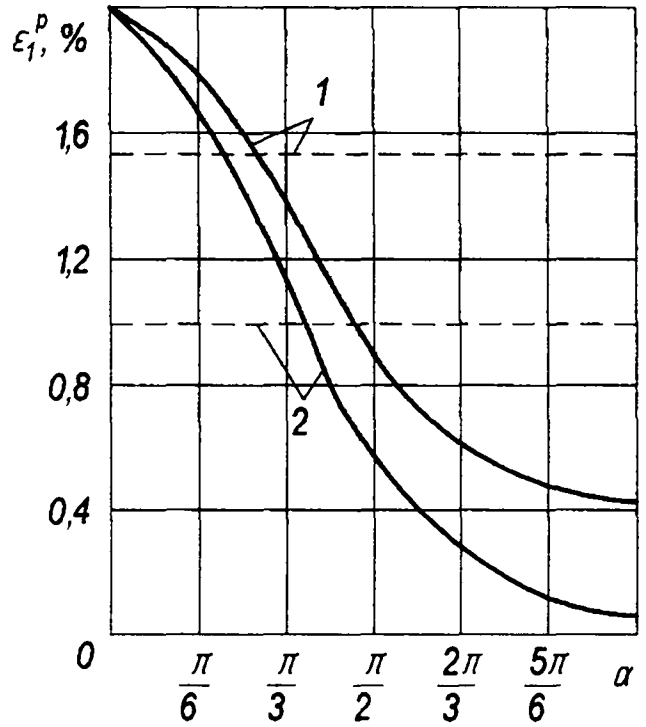


Рис.7.26.Распределение окружной остаточной деформации по полупериметру разностенного корпуса гильзы: *1* – λ=1,20; *2* – λ=1,29

Таким образом, увеличение допуска на толщину стенки с 0,30 до 0,40 мм приводит к снижению возможной без локализации окружной деформации примерно на 0,3%, что достаточно ощутимо с точки зрения запаса прочности.

Средняя упругая составляющая окружной деформации определяется по формуле (7.43):

$$\varepsilon_{\theta упр} = \frac{\sigma_y}{2E}\left(1+\frac{1}{\lambda}\right),$$

где σ_y=780(1+0,024)=799 МПа. При λ_1=1,20

$$\varepsilon_{\theta упр} = \frac{799}{2\cdot 2{,}1\cdot 10^5}\left(1+\frac{1}{1{,}20}\right)=0{,}0035.$$

Общая средняя окружная деформация

$$\varepsilon_{\theta\Sigma} = 0{,}0153 + 0{,}0035 = 0{,}0188 .$$

Соответственно при показателе λ_2=1,29

$$\varepsilon_{\theta упр} = \frac{799}{2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}\left(1 + \frac{1}{1{,}29}\right) = 0{,}0033.$$

$$\varepsilon_{\theta\Sigma} = 0{,}0128 + 0{,}0033 = 0{,}0161.$$

При коэффициенте запаса K=1,15 условие прочности составляет: при λ_1=1,20 $\Delta_0 \le 0{,}0188/1{,}15 = 0{,}016$, т.е. для обеспечения продольной прочности начальный зазор не должен превышать 1,6%; при λ_2=1,29 $\Delta_0 \le 0{,}0161/1{,}15 = 0{,}014$. В этом случае предельный начальный зазор не должен превышать 1,4% и вероятность продольного разрыва гильзы особенно при стрельбе из изношенного ствола возрастает.

Пример 7.2. Определить предельно допустимый начальный зазор и установить характер распределения окружной деформации по периметру разностенного корпуса стальной и латунной гильз при λ = 1,29, $\sigma_в$ = 850 МПа, $S = S_{max}$ = = 1,80 мм, $E_{ст} = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа, $E_л$ = = $1 \cdot 10^5$ МПа.

Решение. По графикам рис.7.24 и 7.25 находят: для стальной гильзы ε_y=0,020; B=1,70; для латунной ε_y=0,028; B=1,84. Далее, разбив полукольцо на шесть сечений (см. пример 7.1), рассчитывают для обеих гильз значения окружной остаточной деформации и строят график её распределения вдоль периметра (развёртки) полукольца (рис.7.27).

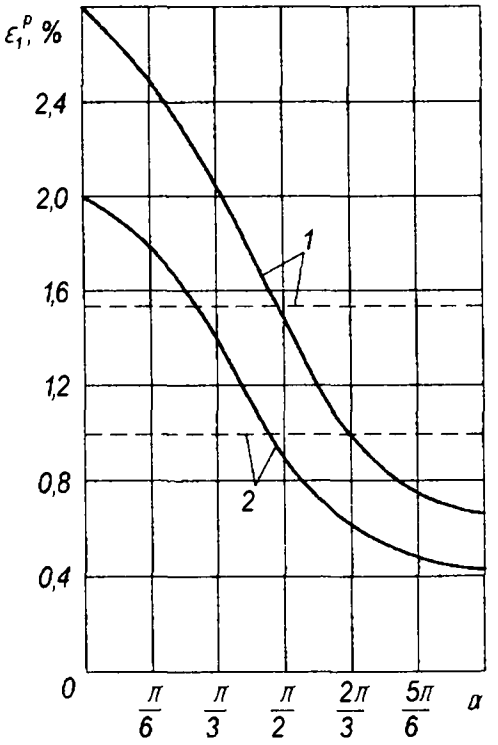


Рис.7.27.Распределение окружной остаточной деформации по полупериметру разностенного корпуса латунной (*1*) и стальной (*2*) гильз

Средняя остаточная деформация составляет: для стальной гильзы $\varepsilon_{\theta ср}$=0,0104; для латунной $\varepsilon_{\theta ср}$=0,0153.

Для расчёта упругой составляющей окружной деформации

определим σ_y: у стальной гильзы σ_y=850(1+0,020)=867 МПа; у латунной σ_y=850(1+0,028)=874 МПа.

При S_{max}=1,80 мм и λ=1,29 минимальная толщина S_{min}=1,40 мм и ΔS=0,40 мм.

Упругая составляющая окружной деформации: для стальной гильзы

$$\varepsilon_{\theta упр} = \frac{867}{2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}\left(1 + \frac{1}{1{,}29}\right) = 0{,}0036;$$

для латунной

$$\varepsilon_{\theta упр} = \frac{874}{2 \cdot 10^5}\left(1 + \frac{1}{1{,}29}\right) = 0{,}0077\,.$$

Из полученных результатов следует, что латунная гильза выявляет существенно большую упругую деформацию вследствие меньшего (примерно в два раза) модуля упругости по сравнению со стальной гильзой.

Полная окружная деформация корпуса в расчётном сечении: у стальной гильзы

$$\varepsilon_{\theta\Sigma}=0{,}0104+0{,}0036=0{,}0140;$$

у латунной

$$\varepsilon_{\theta\Sigma}=0{,}0153+0{,}0077=0{,}0230.$$

В связи с высоким пределом прочности корпуса гильзы при расчёте допустимого начального зазора следует принять больший, чем в предыдущем примере, коэффициент запаса прочности K=1,20. Максимально допустимый начальный зазор: для стальной гильзы

$$\Delta_0 \le \frac{0{,}014}{1{,}2} = 0{,}0117 \ (1{,}17\%);$$

для латунной

$$\Delta_0 \le \frac{0{,}023}{1{,}2} = 0{,}0191 \ (1{,}91\%)$$

вместо 1,4% для той же стальной гильзы при $\sigma_в$=850 МПа (см. пример 7.1).

Из рассмотренных примеров следует, что повышение предела прочности в целях улучшения экстракции (увеличения конечного зазора Δ_1 или уменьшения натяга) непосредственно связано с прочностью гильзы и должно сопровождаться уменьшением начального зазора Δ_0.

7.6.2. Расчёт прочности корпуса гильзы на поперечный разрыв

Поперечный разрыв гильзы представляет опасность для стрелка и может привести к выходу оружия из строя на длительное время.

Как уже указывалось, поперечный разрыв корпуса гильзы возможен во второй период её функционирования, когда большая часть корпуса поджата к стенке патронника, а нижняя часть получает осевое растяжение за счёт выбора зазора между дном гильзы и опорным элементом (затвором) и упругой деформации последнего. Осевое абсолютное удлинение нижней части корпуса гильзы определяется как

$$\Delta l = \eta_{0x} + \eta_{у.з} - x_г, \qquad (7.46)$$

где η_{0x} – осевой зазор между дном гильзы и зеркалом затвора; $\eta_{у.з}$ – упругая деформация узла запирания; $x_г$ – смещение гильзы к затвору к моменту её разобщения со снарядом (форсирование).

При свободном отбрасывании гильзы к затвору, когда $x_г=\eta_{0x}$, абсолютное удлинение нижнего участка корпуса будет наименьшим из возможных и определяется лишь упругой осевой деформацией затвора:

$$\Delta l = \eta_{у.з}. \qquad (7.47)$$

При полном отсутствии смещения гильзы к затвору к моменту форсирования (худший случай), когда $x_г=0$, абсолютное удлинение нижней части корпуса будет наибольшим из возможных:

$$\Delta l = \eta_{0x} + \eta_{у.з}. \qquad (7.48)$$

В этом случае выбор осевого зазора происходит за счёт значительного растяжения незащемлённого участка корпуса, что может явиться причиной поперечного разрыва корпуса в зоне у границы защемления при давлении пороховых газов, близком к максимальному значению p_m.

Условия защемления и смещения гильзы к затвору определяются соотношением сил, действующих на дно гильзы и стремящихся сместить её к затвору, и сил, противоположно направленных, т.е. давления на скат гильзы и силы трения между защемлённым участком корпуса гильзы и патронником (рис. 7.28).

После выбора осевого зазора по мере увеличения давления пороховых газов узел запирания в зависимости от его жёсткости

получает то или иное упругое смещение, которое приводит к дальнейшей осевой деформации гильзы.

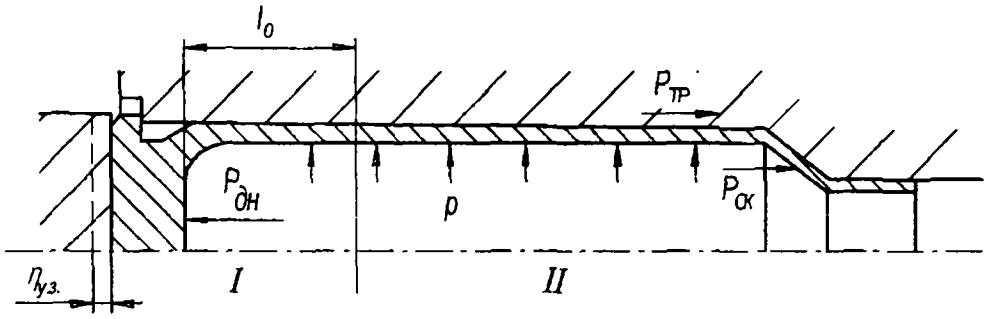


Рис.7.28. Силы, действующие на элементы гильзы во второй период функционирования

Осевая деформация гильзы, вызываемая смещением затвора, происходит при значительном усилии защемления (трения) стенок гильзы поверхностью патронника, что может привести к концентрации остаточной осевой деформации корпуса гильзы на его малом участке. Длина этого участка (l_0) и возможность образования трещины во многом определяются внутренним профилем корпуса и запасом пластичности его материала.

Из изложенного следует, что при расчёте прочности корпуса гильзы на поперечный разрыв должны быть учтены следующие факторы:

- величина начального осевого зазора;
- величина упругой осадки узла запирания оружия и наличие люфта;
- значение извлекающего усилия;
- максимальное давление пороховых газов;
- условия трения между поверхностью гильзы и патронника;
- бутылочность гильзы;
- профиль образующей внутренней поверхности нижней части корпуса гильзы;
- механические свойства материала корпуса (запас пластичности, предел прочности и т.д.).

Методика расчёта прочности корпуса гильзы на поперечный разрыв сводится к следующему. По результатам расчёта напряжений в корпусе гильзы в момент достижения пороховыми газа-

ми максимального давления (см. подразд. 7.5) строятся эпюры их распределения для нижней части корпуса (рис.7.29). Сечение, в котором осевое напряжение максимально, претерпевает при выстреле наибольшее относительное удлинение и является, с точки зрения обеспечения прочности на поперечный разрыв, наиболее опасным. Считается, что осевое тангенциальное и радиальное направления являются главными, поэтому напряжения и деформации, которые реализуются по этим направлениям, тоже главные, с соответствующими индексами. Так, например, в нижней части корпуса имеются участки, в которых индексы главных напряжений различны (рис. 7.29, *а*): на участке *AB* $\sigma_x=\sigma_1$, $\sigma_\theta=\sigma_2$, $\sigma_r=\sigma_3$. Остаточная осевая деформация на этом участке определяется формулой

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1 = \frac{3-\nu}{2\nu}\cdot\varepsilon_2, \qquad (7.49)$$

где $\varepsilon_2=\varepsilon_\theta$ – остаточная деформация гильзы в тангенциальном (окружном) направлении; $\nu = \dfrac{2\sigma_2-\sigma_1-\sigma_3}{\sigma_1-\sigma_3}$ – характеристика вида напряжённого состояния.

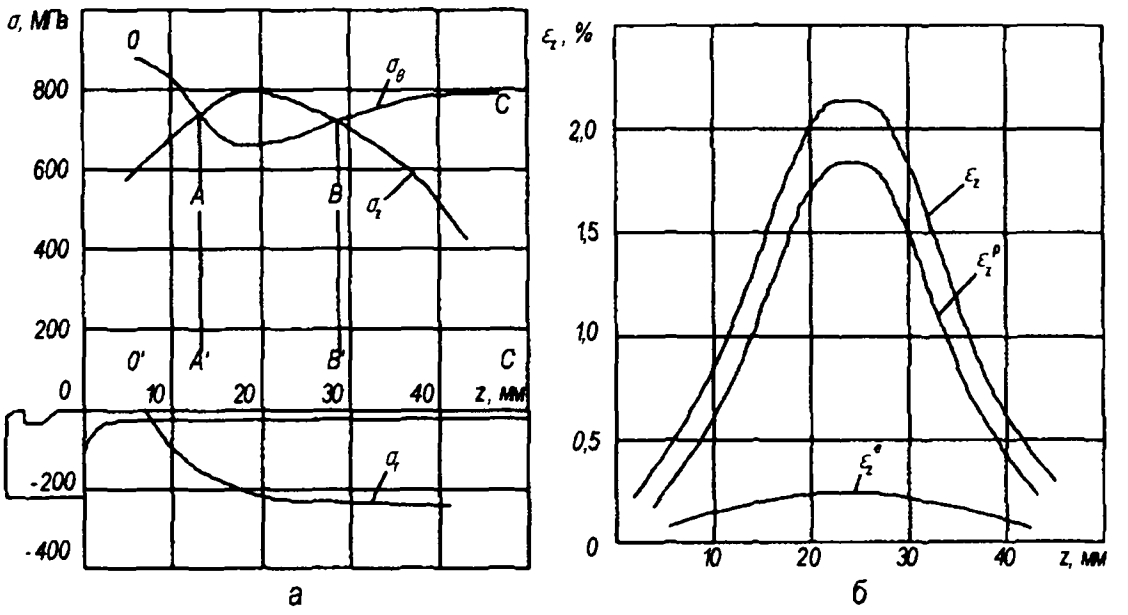


Рис. 7.29. Распределение по длине нижней части корпуса гильзы напряжений (*а*) и осевых деформаций (*б*)

С достаточной точностью в расчётах на прочность можно принять, что окружная остаточная деформация равна начальному диаметральному зазору Δ_0. Тогда

$$\varepsilon_x = \frac{3-\nu}{2\nu}\Delta_0. \tag{7.50}$$

На тех участках корпуса, где первым главным напряжением является окружное $\sigma_1=\sigma_\theta$, $\sigma_2=\sigma_x$, $\sigma_3=\sigma_r$, расчёт осевой остаточной деформации производится по формуле

$$\varepsilon_x = \varepsilon_2 = \frac{2\nu}{3-\nu}\Delta_0. \tag{7.51}$$

Упругая составляющая осевой деформации для всего участка нижней части корпуса определяется по обобщённому закону Гука:

$$\varepsilon_{x_{\text{упр}}} = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\mu}{E}(\sigma_\theta - \sigma_r). \tag{7.52}$$

По найденным значениям остаточной и упругой составляющих осевой деформации строятся их эпюры по всей длине растягиваемого участка корпуса; сумма этих деформаций устанавливает полное осевое относительное удлинение (рис. 7.29, *б*):

$$\varepsilon_{x\Sigma} = \varepsilon_x + \varepsilon_{x_{\text{упр}}}. \tag{7.53}$$

Затем по эпюре полного относительного удлинения определяется общее абсолютное удлинение нижнего участка корпуса (площадь под эпюрой $\varepsilon_{x\Sigma}(x)$):

$$\Delta l = \int_0^l \varepsilon_{x\Sigma} dx. \tag{7.54}$$

Это абсолютное удлинение должно быть равно удлинению, рассчитанному по формуле (7.48), которое характеризует условия выстрела и вызывает соответствующую деформацию нижней части корпуса. Однако, из-за допущения о несмещении гильзы в осевом направлении (наихудший случай) и вследствие того, что оба расчёта проводятся независимо друг от друга, результаты, полученные по формулам (7.48) и (7.54), как правило, несколько не совпадают и требуют корректировки. Последняя производится либо за счёт уточнения значений $\eta_{у.з.}$ и η_{0x}, либо за счёт допущения большого относительного удлинения корпуса, т.е. корректи-

ровкой эпюры $\varepsilon_{x\Sigma}(x)$ таким образом, чтобы было обеспечено равенство абсолютных удлинений, рассчитанных по обеим формулам.

Завершающим этапом расчёта является проверка деформационного критерия прочности корпуса гильзы на поперечный разрыв, которое записывается в виде

$$\varepsilon_{x\max} \le \varepsilon_y, \qquad (7.55)$$

где $\varepsilon_{x\max}$ – максимальная величина осевой остаточной деформации (по эпюре рис. 7.29, *б*), определяющая зону опасного сечения.

Величина ε_y определяется по графику рис. 7.24 в зависимости от предела прочности материала корпуса гильзы в установленном опасном сечении.

В том случае, если условие прочности (7.55) не выполняется, может быть допущена частичная локализация деформации (образование шейки), так как по достижении пороховыми газами максимального давления наступает разгрузка гильзы. Возможность подобного допущения подтверждается опытными данными по многократному использованию малокалиберных артиллерийских гильз, которые указывают на постепенное увеличение размеров шейки от выстрела к выстрелу и образование поперечного разрыва корпуса на 4...6-м выстрелах.

Следует отметить, что по виду эпюры осевых напряжений и деформаций можно судить об оптимальности внутреннего профиля нижней части корпуса. Гильзы, в которых при выстреле участок растяжения нижней части корпуса имеет достаточную протяжённость без резкого максимума осевых напряжений, допускают большее упругое смещение (осадку) узла запирания, т.е. могут быть применены в системах с худшими характеристиками жёсткости затвора и с увеличенным осевым зазором.

Пример 7.3. Проверить выполнение условия прочности корпуса гильзы клб. 30 мм на поперечный разрыв. Материал – сталь 11ЮА, предел прочности корпуса в верхней части $\sigma_в$=750 МПа, в нижней $\sigma_в$=860 МПа, $S_н$=1,2 мм, $D_г$=37 мм, p_m=330 МПа, Δ_0=1,5%, $\eta_{у.з}$=0,46 мм. Считается, что к моменту форсирования гильза отброшена к затвору, т.е. наибольшее абсолютное удлинение нижней части корпуса составляет $\Delta l = \eta_{у.з}$=0,46 мм.

Решение. Для построения эпюры главных напряжений воспользуемся методикой расчёта, приведённой в подразд. 7.5. На

рис. 7.29, *а* показаны результаты расчёта и эпюры напряжений σ_θ, σ_x, σ_r для нижней части корпуса гильзы длиной l_0. На участке *OA* и *BC* $\sigma_\theta=\sigma_1$, $\sigma_x=\sigma_2$, $\sigma_r=\sigma_3$, соответственно осевая остаточная деформация определяется по формуле (7.51). На участке *AB* $\sigma_x=\sigma_1$, $\sigma_\theta=\sigma_2$, $\sigma_r=\sigma_3$ и расчёт осевой остаточной деформации производится по формуле (7.50). Упругая составляющая осевой деформации определяется по (7.52), полное осевое относительное удлинение – по (7.53). Результаты расчёта осевых деформаций приведены в табл. 7.3 и представлены графиками на рис. 7.29, *б*.

Полное абсолютное удлинение участка Δl корпуса гильзы, представляющее собой площадь под кривой $\varepsilon_{x\Sigma}(x)$, определяется по (7.54) и составляет величину Δl=0,49 мм, что практически совпадает с абсолютной упругой осадкой узла запирания и деформацией по (7.47), которую гильза должна выявить при полном отбрасывании её к затвору. По рис. 7.29, *б* устанавливаем, что максимальное остаточное осевое удлинение в опасном сечении корпуса гильзы составляет величину $\varepsilon_{x\max}$=0,0190, т.е. 1,90%, которая не превосходит предельно устойчивую деформацию этого участка корпуса: при заданном пределе прочности материала в нижней части корпуса $\sigma_в$=860 МПа, величина ε_y (по рис. 7.24) составляет 0,0195 (1,95%). Таким образом, прочность корпуса стальной гильзы клб. 30 мм на поперечный разрыв в заданных условиях выстрела обеспечена.

Таблица 7.3

Результаты расчёта осевой деформации корпуса стальной гильзы: d=30 мм, p_m=330 МПа

X, мм от сечения неприлегания	Напряжения, МПА			ν	Деформации		
	σ_x	σ_θ	σ_r		ε_x	$\varepsilon_{x\text{упр}}$	$\varepsilon_{x\Sigma}$
6	600	870	0	0,38	0,0040	0.0015	0,0055
10	665	850	–130	0,62	0,0078	0,0020	0,0098
14	720	820	–190	0,80	0,0109	0,0024	0,0133
18	745	690	–205	0,885	0,0180	0,0027	0,0207
20	750	670	–225	0,835	0.0190	0,0029	0,0219
22	740	660	–233	0,835	0,0189	0,0029	0,0218
28	695	675	–240	0,960	0,0160	0.0026	0,00186
32	645	700	–243	0,880	0,0124	0,0023	0,0147
36	580	730	–245	0,0690	0,0089	0,0020	0,0109
40	510	755	–246	0,510	0,0061	0,0016	0,0077

7.6.3. Расчёт прочности фланца гильзы

В процессе экстракции, особенно защемлённой гильзы, на фланец действуют значительные усилия, вызывающие деформацию смятия и изгиба, а при разрушении – среза. Наибольшую опасность представляют напряжения среза, на которые и следует рассчитывать прочность фланца. Проверка производится по условию

$$\sigma_{ср} = \frac{P_{экс}}{F_{ср}} \le [\sigma_{ср}], \qquad (7.65)$$

где $\sigma_{ср}$ – напряжение среза, действующее во фланце гильзы при экстракции; $[\sigma_{ср}]$ – допускаемое напряжение на срез; $P_{экс}$ – максимальное усилие экстракции; $F_{ср}$ – площадь среза фланца (при двух захватах – суммарная площадь).

Размеры площади среза устанавливаются в зависимости от конструкции фланца гильзы и захватов экстрактора (рис. 7.30). С учётом возможной неодновременности воздействия лапок экстрактора или захватов поршневых затворов на фланец необходимо вводить в расчёт коэффициент запаса прочности фланца на срез, равный 1,5. При одном захвате он может быть снижен до 1,3. Допускаемое напряжение на срез для стальных и латунных гильз следует принимать в пределах $[\sigma_{ср}] \le 150$ МПа.

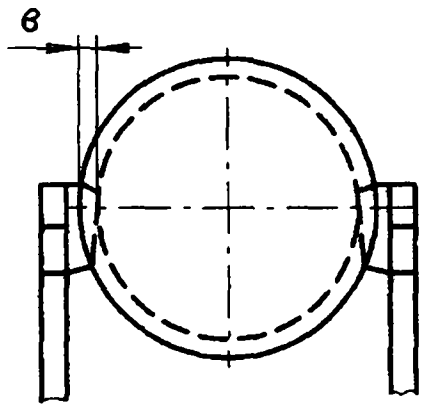


Рис. 7.30. Схема захвата фланца гильзы экстрактором

Смятие и отпечатки на фланце гильзы допускаются до глубины 5...10% толщины фланца. Напряжение смятия фланца рассчитывается по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{P_{экс}}{F_{см}} \le [\sigma_{см}], \qquad (7.57)$$

где $F_{см}$ – общая площадь контакта захватов с фланцем; $[\sigma_{см}]$=300...400 МПа – допускаемое напряжение смятия для стальных и латунных гильз.

Особое внимание должно обращаться на прочность фланца стальных гильз при стрельбе в условиях низкой температуры.

7.7. Расчёт патрона на надёжность от распатронирования в процессе досылания в патронник

Для обеспечения высокого темпа стрельбы патрону при досылании придают значительную скорость, которая достигает 14...15 м/с. Возникающие при этом инерционные силы способны нарушить жёсткость корпуса и дульца гильзы (образование так называемого "воротника" в верхней части корпуса). При резком торможении на боевой позиции возможно распатронирование, т.е. преждевременный выход снаряда (пули) из дульца, врезание его в нарезы канала ствола, частичная просыпка пороха. Это может вызвать преждевременное воспламенение порохового заряда, затяжного выстрела и застревание снаряда в стволе. Возможно частичное обжатие ската (проскок), что станет причиной осечки в результате недохода бойка до капсюля-воспламенителя, невозможность захвата фланца экстрактором при экстракции.

Весь процесс досылания в механизмах ударного действия состоит из двух этапов: разгона патрона до определённой скорости и торможения патрона фиксаторами в патроннике. На этапе разгона, особенно в крупнокалиберных системах (рис. 7.31), возникают значительные инерционные силы (при большой массе пули), которые могут деформировать корпус, скат, дульце гильзы и являться причиной образования "воротников". Для определения усилия сжатия снарядом P_c корпуса гильзы на этапе разгона примем следующие допущения:

– разгон патрона рассматривается как колебательное движение снаряда массой M_c на гибкой связи (корпусе гильзы) с жёсткостью $C_{к.г}$;

– дно гильзы и снаряд не обладают податливостью, а корпус гильзы – массой;

– масса гильзы $m_г$ сосредоточена в её дне;

– корпус гильзы тонкостенный, обладает податливостью $a_{к.г} = 1/C_{к.г}$.

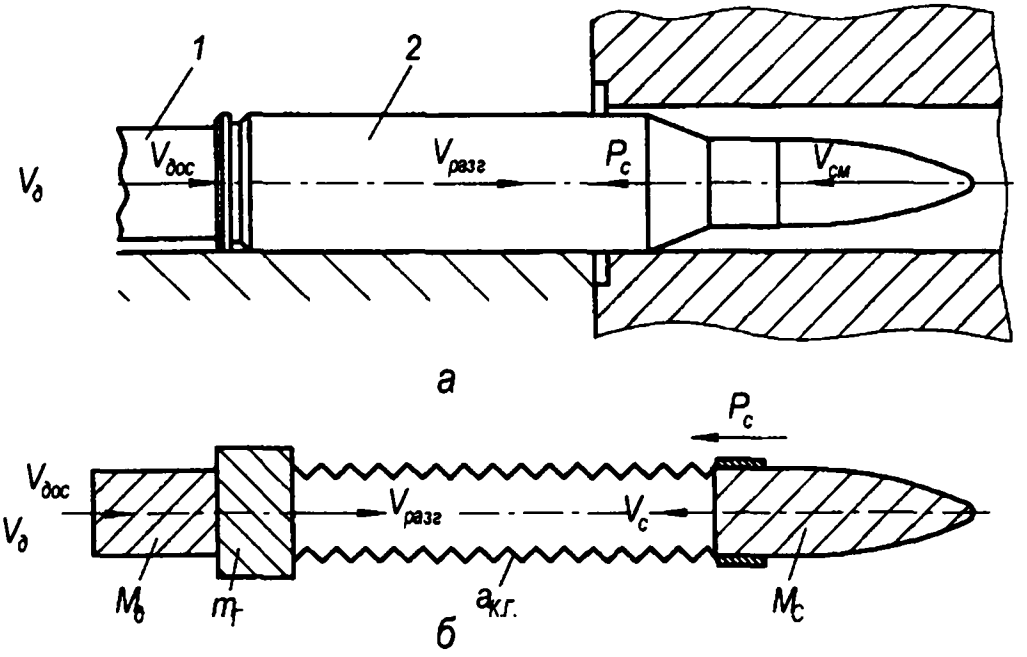


Рис. 7.31. Схема этапа разгона при досылания патрона в патронник:
а – механическая; *б* – кинематическая

Уравнение движения снаряда на гибкой связи при воздействии досылателя:

$$M_с \frac{d^2x}{d\tau^2} + C_{к.г} \cdot x = 0, \qquad (7.58)$$

где $C_{к.г} = 1/a_{к.г}$ – жёсткость корпуса гильзы; x – перемещение снаряда относительно дна гильзы (навстречу); $M_с$ – масса снаряда.

При наличии гибкой связи усилие её сжатия определяется как

$$P_с = C_{к.г} \cdot x, \qquad (7.59)$$

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + \frac{C_{к.г}}{M_с} \cdot x = 0 \qquad (7.60)$$

или

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + \omega^2 \cdot x = 0. \qquad (7.61)$$

Уравнение (7.61) является дифференциальным уравнением колебательного движения массы $M_с$ с круговой частотой $\omega = \sqrt{C_{к.г} / M_с}$.

Решение этого уравнения имеет следующий вид:

$$x = C_1 \cdot \cos \omega\tau + C_2 \cdot \sin \omega\tau . \qquad (7.62)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяются начальными условиями: при τ=0, x=0, следовательно, C_1=0,

$$x = C_2 \sin \omega\tau . \qquad (7.63)$$

Для определения постоянной C_2 продифференцируем выражение (7.63):

$$\frac{dx}{d\tau} = V_c = C_2 \omega \cos \omega\tau, \qquad (7.64)$$

где V_c – скорость смещения снаряда относительно дна гильзы. При τ=0, $V_c = V_{разг}$ и, следовательно, $C_2 = V_{разг} / \omega$.

Подставим значение C_2 в (7.63) и (7.64):

$$V_c = V_{разг} \cdot \cos \omega\tau , \qquad (7.65)$$

$$x = \frac{V_{разг}}{\omega} \cdot \sin \omega\tau . \qquad (7.66)$$

На основании закона сохранения количества движения принимаем допущение: в момент удара масса досылателя и гильзы соединяются и скорость их становится мгновенно одинаковой:

$$V_{разг} = V_д \frac{M_д}{M_д + m_г} . \qquad (7.67)$$

Окончательно получаем

$$V_c = \frac{V_д}{M_д + m_г} \cdot \cos \omega\tau , \qquad (7.68)$$

$$x = \frac{V_д}{\omega\left(M_д + m_г\right)} \cdot \sin \omega\tau . \qquad (7.69)$$

При подстановке значения x в выражение (7.59) устанавливаем зависимость, определяющую изменение усилия сжатия снарядом корпуса гильзы на этапе разгона:

$$P = \frac{V_д}{M_д + m_п} \sqrt{C_{к.г} \cdot M_c} \cdot \sin \omega\tau . \qquad (7.70)$$

Максимальное усилие сжатия корпуса гильзы возникает в мо-

мент $\tau = \dfrac{\pi}{2\omega}$ (рис. 7.32):

$$P_{c\max} = \frac{V_д}{M_д + m_п}\sqrt{C_{к.г} \cdot M_c}\,, \qquad (7.71)$$

В формуле (7.71) жёсткость $C_{к.г}$ определяется путём деления корпуса гильзы на n поясов, в каждом из которых $(C_{к.г.})_i = \dfrac{E \cdot F_i}{l_i}$, а суммирование этих жёсткостей дает:

$$C_{к.г.} = \sum_{i=1}^{n} \frac{E \cdot F_i}{l_i},$$

где E – модуль упругости материала гильзы; l_i – ширина пояса; F_i – площадь поперечного сечения i-го пояса корпуса гильзы.

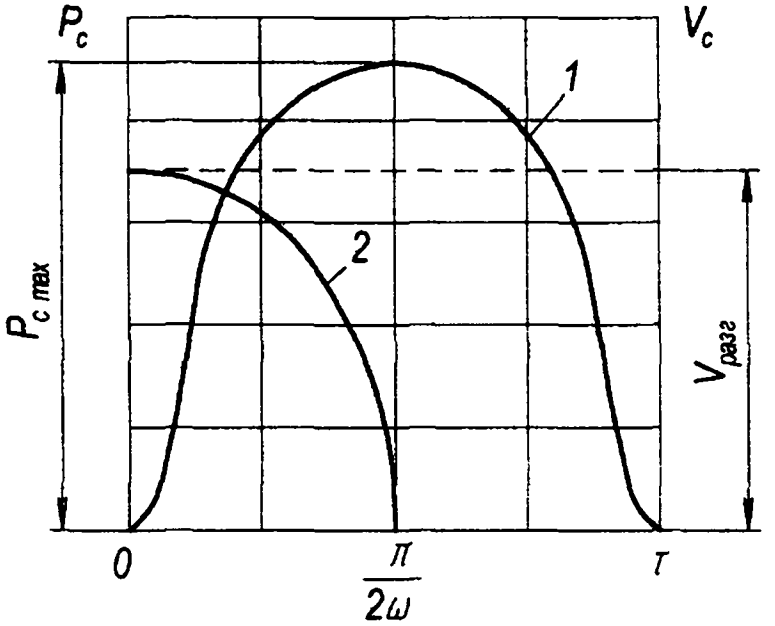


Рис. 7.32. Характер изменения P_c (*1*) и V_c (*2*) на этапе разгона патрона при досылании

Максимальное усилие сжатия корпуса гильзы на этапе разгона (см. рис. 7.32) не должно превышать допустимой величины

$$P_{c\,max} < [P] = P_{пл}. \qquad (7.72)$$

Усилие $P_{пл}$, необходимое для пластической деформации корпуса гильзы как тонкостенного цилиндра, может быть рассчитано по формуле, предложенной М.И. Свердловым:

$$P_{пл} = 1{,}1 \cdot K \cdot K_V \cdot \sigma_{0.2} \cdot F_г, \qquad (7.73)$$

где K=0,4...0,6 – коэффициент, зависящий от формы гильзы, бутылочности, длины ската и т.д.; K_V=1,1...1,2 – коэффициент, учитывающий динамический характер приложения нагрузки; $F_г$ – площадь поперечного сечения корпуса гильзы в зоне сопряжения со скатом.

При торможении патрона опорными элементами (фланец, скат, бурт) снаряд по инерции смещается вперёд (рис. 7.33). При этом в месте закатки снаряда возникает сила $P_с$, которая стремится извлечь снаряд из дульца.

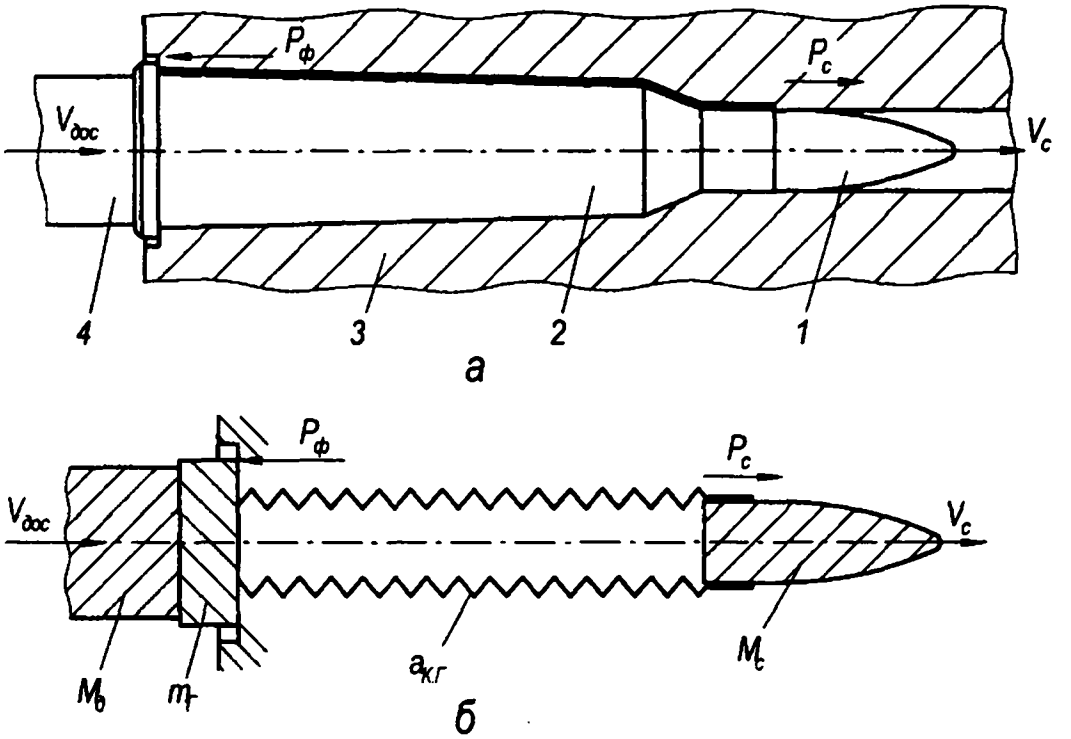


Рис. 7.33. Схема этапа торможения при досылании патрона в патронник: *а* – механическая; *б* – кинематическая

Как и для этапа разгона, будем считать, что:

– торможение патрона рассматривается как колебательное движение снаряда массой $M_с$ на гибкой связи (корпусе гильзы) с жесткостью $C_{к.г}$;

– дно гильзы и снаряд не обладают податливостью, а корпус гильзы – массой;

– масса гильзы $m_г$ сосредоточена в её дне;

– корпус гильзы тонкостенный, обладает податливостью $a_{к.г} = 1/C_{к.г}$.

Колебательное движение снаряда на гибкой связи описывается уравнением

$$M_c \frac{d^2x}{d\tau^2} + P_c = 0,$$

$$P_c = C_{к.г} \cdot x,$$

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + \frac{C_{к.г}}{M_c} \cdot x = 0$$

или

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + \omega^2 \cdot x = 0,$$

где $\omega = \sqrt{C_{к.г}/M_c}$ – круговая частота колебательного движения.

По аналогии с этапом разгона решение деформационного уравнения имеет вид

$$x = C_1 \cos\omega\tau + C_2 \sin\omega\tau.$$

Из начальных условий находим постоянные интегрирования для этапа торможения: при $\tau=0$, $x=0$, $C_1=0$

$$x = C_2 \sin\omega\tau.$$

Для определения постоянной интегрирования C_2 продифференцируем уравнение (7.63):

$$\frac{dx}{d\tau} = V_c = C_2\omega\cos\omega\tau.$$

Из начальных условий устанавливаем, что при $\tau=0$, скорость снаряда равняется скорости досылателя $V_c=V_д$, поэтому $C_2 = V_д/\omega$.

$$x = \frac{V_д}{\omega}\sin\omega\tau. \qquad (7.74)$$

Сила, действующая в закатке при торможении,

$$P_c = C_{к.г} \cdot \frac{V_д}{\omega} \cdot \sin\omega\tau \qquad (7.75)$$

или

$$P_c = V_д \cdot \sqrt{C_{к.г.} \cdot M_c} \sin \omega\tau . \qquad (7.76)$$

Максимального значения сила P_c достигает в момент $\tau = \frac{\pi}{2\omega}$:

$$P_{c\,max} = V_д \sqrt{C_{к.г} \cdot M_c} . \qquad (7.77)$$

Из формулы (7.77) следует: чем большей жесткостью обладает корпус гильзы, тем выше максимальное усилие, действующее на закатку, способное извлечь снаряд из дульца (распатронирование).

Решая уравнение (7.61) с заменой масс снаряда M_c на массу патрона $M_п$, можно определить силу, действующую на опорный элемент торможения (например, фланец):

$$P_{ф\,max} = V_д \sqrt{C_ф \cdot M_п} . \qquad (7.78)$$

Для обеспечения невозможности распатронирования необходимо выполнение условия

$$P_{c\,max} < P_{извл}, \qquad (7.79)$$

где $P_{извл}$ – извлекающее пулю усилие (характеристика, заданная чертежом на патрон):

$$P_{извл} = K\pi \cdot n \cdot S_д \cdot l_к \cdot \sigma_{0.2} \left(\sin\alpha + f_{тр} \cos\alpha\right) , \qquad (7.80)$$

где K=5 – для латуни; K=8 – для стали; n – количество канавок в закатке; $S_д$ – толщина стенки дульца; $l_к$ – ширина канавки; $f_{тр}$ – коэффициент трения дульца по поверхности пули (снаряда).

Необходимая прочность крепления пули обеспечивается кернением, завальцовкой или обжимом дульца гильзы в кольцевую канавку (рис. 7.34). В некоторых случаях, например у большинства пистолетных патронов, пуля не подвергается специальному креплению и достаточно прочно удерживается силами трения за счёт посадки её в дульце гильзы с некоторым натягом.

Более надёжным способом крепления пули является завальцовка края дульца гильзы в кольцевую канавку пули. Наряду с завальцовкой широко применяется крепление пули обжимом края дульца в канавки. Такие способы крепления позволяют иметь большое пулеизвлекающее усилие и обеспечивают нормальную работу автоматического оружия с высоким темпом стрельбы.

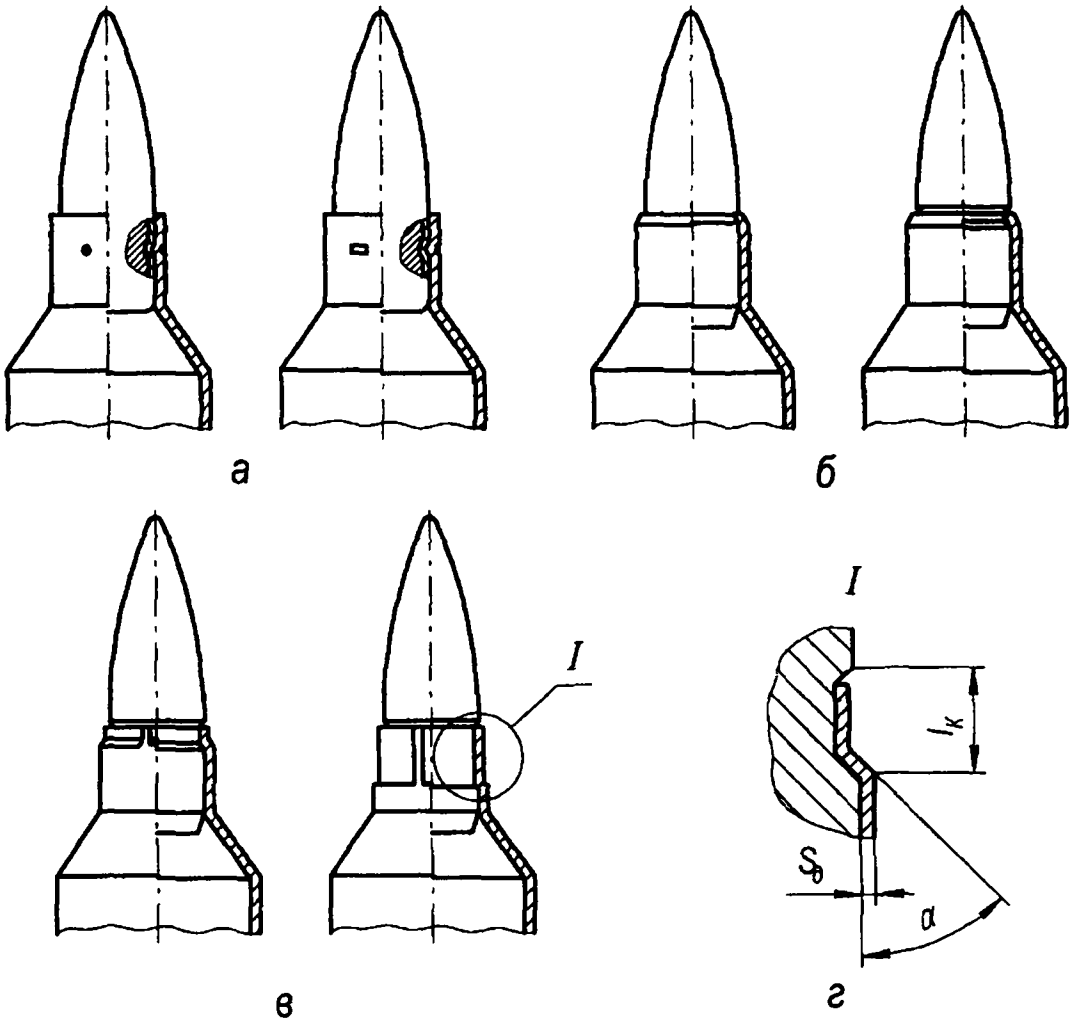


Рис. 7.34. Крепление пули кернением дульца (*а*), завальцовкой края дульца (*б*), обжимом дульца (*в*), фрагмент крепления (*г*)

8. ВЫБОР УСЛОВИЙ ЗАРЯЖАНИЯ

Условия заряжания – это рационально выбранное сочетание параметров патрона и оружия, при которых выполняется основная задача внутренней баллистики – получение необходимой дульной кинетической энергии пули. К ним относятся максимальное давление пороховых газов p_m, длина канала ствола $L_{кн}$, вес заряда ω, плотность заряжания Δ, уширение каморы, определяемое коэффициентом бутылочности ψ. Определение этих величин возможно при известном калибре d, массе пули $m_п$ и начальной её скорости V_0, которые устанавливаются техническим заданием или определяются внешнебаллистическими расчётами.

Задача по выбору условий заряжания является неопределённой. Поэтому при её решении задаются рядом величин, например, максимальным давлением пороховых газов, длиной канала ствола, коэффициентом бутылочности, исходя из опыта предшествующих разработок и результатов полигонных испытаний. Использование дополнительной информации позволяет уменьшить число возможных решений и выбрать наилучшее с учётом обеспечения эффективности действия оружия по цели, его надёжности и высокой технологичности.

В качестве критериев отбора рациональных вариантов решения используют минимизацию веса заряда и объёма каморы заряжания, рациональную длину и объём канала ствола, максимально возможную начальную скорость пули, соответствующую плотность заряжания и др. Выбор условий заряжания при разработке стрелкового комплекса осуществляется на методике, разработанной Д.А. Вентцелем.

8.1. Взаимозависимость элементов внутри баллистических характеристик

Связь длины канала ствола с условием заряжания:

$$\frac{L_{кн}}{d} = \frac{l_0}{d} + \frac{l_{км}}{d}, \qquad (8.1)$$

где $L_{кн}$ – длина канала ствола; $l_{км}$ – длина каморы заряжания; $l_д$ – путь пули по каналу ствола; l_0 – приведённая длина каморы заря-

жания (рис. 8.1); d – диаметр канала ствола по полям (калибр);

$$\frac{L_{кн}}{d} = \frac{\lambda_0 l_0}{d} + \frac{l_0}{\psi d} = \frac{l_0}{d}\left(\lambda_0 + \frac{1}{\psi}\right), \tag{8.2}$$

где λ_0 – путь пули в канале ствола, выраженный в приведённых длинах каморы; ψ – коэффициент бутылочности.

Приведённая длина каморы

$$l_0 = \frac{W_0}{0{,}82d^2}, \tag{8.3}$$

где W_0 – объём каморы, который можно определить как

$$W_0 = W_z - W_{zп}, \tag{8.4}$$

Здесь W_z – полный внутренний объём гильзы, $W_{zп}$ – объём части пули, находящейся в гильзе.

Коэффициент бутылочности

$$\psi = \frac{d_{ср}}{d_д}; \quad \psi = \frac{l_0}{l_{км}}. \tag{8.5}$$

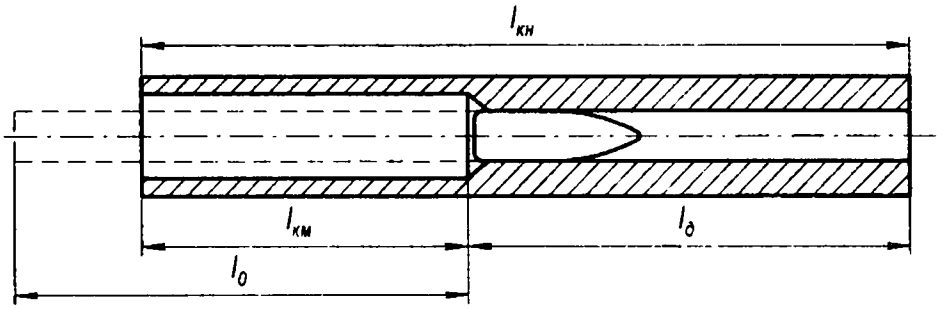


Рис. 8.1. Схема канала ствола

Методика Д.А. Вентцеля предполагает использование таблиц баллистических расчётов ГАУ (прил. 4), с помощью которых можно определить дульную (начальную) скорость пули:

$$V_0 = V_{табл} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q_п}}, \tag{8.6}$$

где $V_{табл}$ – табличная скорость пули; ω – вес порохового заряда; φ – коэффициент фиктивности массы пули; $\varphi = 1{,}1 + 0{,}28\omega/q_п$ – для пуль стрелковых патронов.

Из выражения (8.6) может быть получено ещё одно соотношение, которое в дальнейшем будет использовано:

$$\frac{\omega}{q_{\text{п}}} = \frac{1{,}1}{(V_{\text{табл}}/V_0)^2 - 0{,}28}. \qquad (8.7)$$

8.2. Решение задачи выбора условий заряжания

Для упорядочения расчётов и анализа получаемых результатов необходимо придерживаться нижеприведенной последовательности.

1. Задаются несколькими значениями плотности заряжания Δ и числа объёмов расширения зарядной каморы $\lambda_{\text{д}}$ с учётом предшествующих разработок.

2. По таблицам баллистических расчётов (ТБР), используя значения p_m, $\lambda_{\text{д}}$, Δ, определяют значение табличной скорости $V_{\text{табл}}$ (прил. 4).

3. Определяют относительный вес заряда $\omega/q_{\text{п}}$ по выражению (8.7).

4. По известным значениям $\omega/q_{\text{п}}$ и ψ определяют длину канала ствола:

$$\frac{L_{\text{кн}}}{d} = \frac{C_q}{0{,}82} \cdot \frac{\omega}{q_{\text{п}}} \cdot \frac{1}{\Delta}\left(\lambda_{\text{д}} + \frac{1}{\psi^2}\right). \qquad (8.8)$$

Для удобства анализа получаемых результатов расчётов целесообразно использовать табличную форму (рис. 8.2). Это позволяет упорядочить работы и обнаружить ошибочные решения. По данным этой таблицы строят графики зависимости $L_{\text{кн}}/d = f(\Delta)$ для фиксированного $\lambda_{\text{д}}$ (рис. 8.3, *а*). Полученные кривые должны пересекаться линией *пп*, отвечающей заданной длине ствола.

$\lambda_{\text{Д}}$	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4
$\lambda_{\text{Д1}}$				
$\lambda_{\text{Д2}}$				
$\lambda_{\text{Д3}}$				
$\lambda_{\text{Д4}}$				

Рис. 8.2. Табличная форма записи вариантов $\lambda_{\text{д}}$, Δ для фиксированного значения $V_{\text{табл}}$

5. Используя точки пересечения линии *пп*, строят графики зависимости длины ствола от числа объёмов расширения каморы $L_{\text{кн}}/d = f(\Delta)$ (рис. 8.3, *б*). Точки пересечения линии *пп* дают пары значений Δ и $\lambda_{\text{д}}$, отвечающей заданной длине ствола.

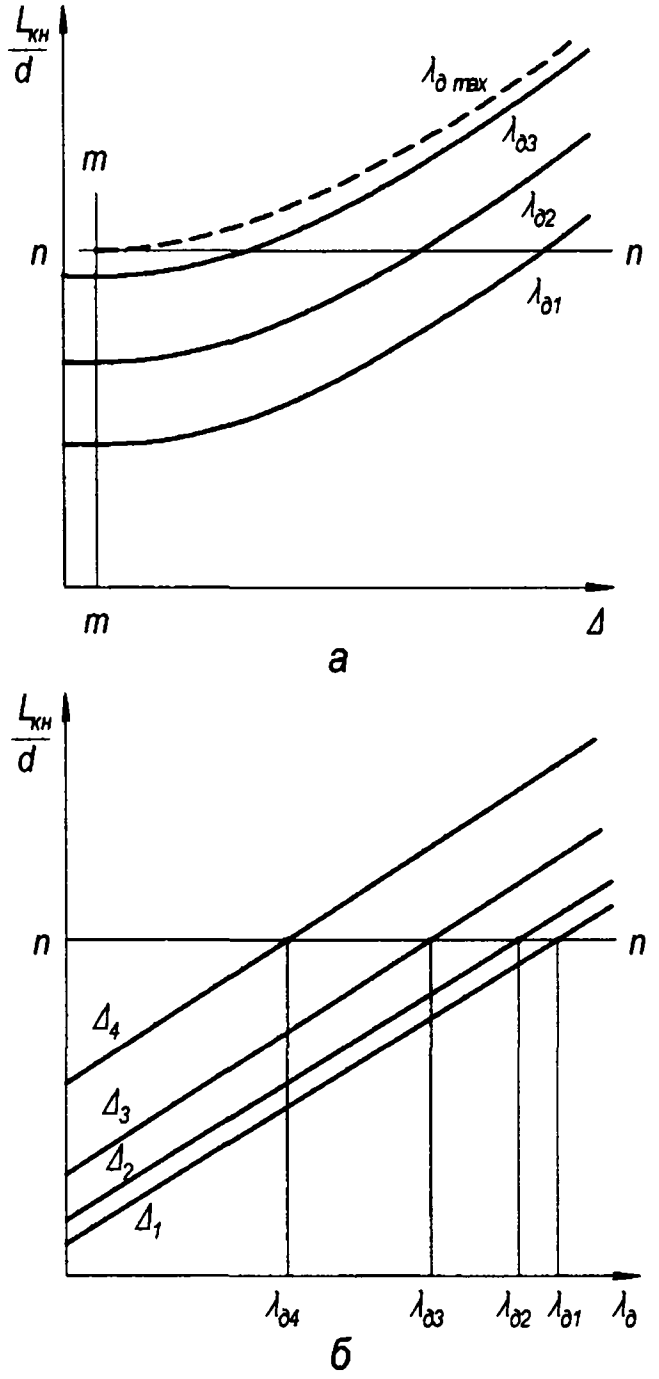


Рис. 8.3. Зависимость длины канала ствола от плотности заряжания

6. По полученным парам значений Δ и $\lambda_д$ в ТБР находят соответствующие им значения $V_{табл}$ и $\lambda_к$.

7. Рассчитывают для всех вариантов:

• вес заряда

$$\omega = \frac{1{,}1 \cdot q_{\text{п}}}{\left(V_{\text{табл}}/V_0\right)^2 - 0{,}28};$$

• объём зарядной каморы

$$W_0 = \frac{\omega}{\Delta};$$

• путь пули в канале ствола к моменту окончания горения порохового заряда

$$l_{\text{к}} = \frac{\lambda_{\text{к}}}{\lambda_{\text{д}}} \cdot l_{\text{д}}.$$

8. Из рассчитанных значений характеристик условий заряжания выбирают оптимальные в промежутке с ω_{min} и W_{0min} при условии, чтобы отношение $l_к/l_д$ не превосходило 0,6...0,7. При больших значениях этого отношения может быть неполное сгорание части пороховых зёрен к моменту вылета пули из канала ствола и, как следствие этого, увеличенный разброс начальной скорости и большое рассеивание пуль.

Если не ставятся жёсткие требования по минимальным размерам зарядной каморы (и патрона в целом), то выбирать вариант с очень большой плотностью заряжания не рекомендуется. Некоторый запас в объёме каморы нужен на случай ухудшения качества пороха и необходимости в связи с этим увеличить массу заряда и обеспечить стабильную начальную скорость. Следует также учитывать возможность разработки в дальнейшем новых конструкций пуль для данного патрона.

9. Для выбранного варианта условий заряжания подбирают марку пороха, рассчитав импульс пороховых газов в конце горения:

$$J_{\text{к}} = d\frac{C_q}{0{,}82}\sqrt{\frac{Bf \cdot \omega / q_{\text{п}} \cdot \varphi}{g}}, \qquad (8.9)$$

где B – параметр заряжания (см. прил. 4); f – сила пороха; f=900000...1000000 кгс·дм/кг – для пироксилиновых порохов; f=900000...1200000 кгс·дм/кг – для нитроглицериновых порохов.

По импульсу определяют необходимую толщину горящего свода порохового заряда:

$$2e_1 = 2J_{\text{к}} \cdot u_1, \qquad (8.10)$$

где u_1 – скорость горения пороха при нормальном давлении; u_1=(0,6…0,9)·10^{-5} дм·дм^2/с·кгс – для пироксилиновых порохов; u_1=(0,7…1,5)·10^{-5} дм·дм^2/с·кгс – для нитроглицериновых порохов.

Если нельзя подобрать порох с расчётным импульсом из существующих порохов, то можно составить смешанный заряд из двух порохов с близкими импульсами, пользуясь соотношением

$$\frac{1}{J_к} = \frac{\omega_1}{\omega}\cdot\frac{1}{J_{к1}} + \frac{\omega_2}{\omega}\cdot\frac{1}{J_{к2}}, \qquad (8.11)$$

где ω_1, ω_2 – массы зарядов смешиваемых порохов; $J_{к1}$, $J_{к2}$ – импульсы смешиваемых порохов.

Для сокращения объёма работ по определению параметров заряжания может быть использована методика В.Е. Слухоцкого. Поправочные формулы позволяют определить изменение максимального давления пороховых газов и начальной скорости пули в зависимости от изменения различных параметров:

$$\frac{\Delta p_m}{p_m} = m_x\cdot\frac{\Delta x}{x}; \qquad (8.12)$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = l_x\cdot\frac{\Delta x}{x}, \qquad (8.13)$$

где x – изменяющийся параметр (масса заряда, масса пули, объём каморы, сила пороха, импульс пороховых газов); m_x, l_x – поправочные коэффициенты.

Для поправочных коэффициентов составлены таблицы (см. прил. 3). Изменяя какой-нибудь параметр или несколько параметров, можно проследить, как изменяются максимальное давление пороховых газов и скорость пули. Поправочные формулы и таблицы поправочных коэффициентов к ним позволяют также оценить разброс p_m и $V_д$ в зависимости от диапазона погрешностей параметров патрона при его изготовлении.

Для приближённых расчётов условий заряжания также можно применить методику проф. В.Е. Слухоцкого с использованием табл. 8.1.

Входной величиной в табл. 8.1 является коэффициент могущества $C_E = \frac{E_0}{d^3}\left|\frac{TM}{\partial M^3}\right|$. По величине $L_{ст}/d$ находят относительный

объём каморы $C_{W0} = W_0 / d^3$, относительный вес заряда $C_\omega = \omega / d^3$, максимальное давление пороховых газов p_m и $C_\omega / C_{W0} = \omega / W_0 = \Delta$. Для перехода от относительного объёма и относительной массы заряда к абсолютным необходимо C_{W0} и C_ω умножить на d^3 в дециметрах.

Таблица 8.1

Внутрибаллистические параметры системы оружие-патрон

C_E, тм/дм^3	η_ω, тм/кг	p_m крещ, кг/см^2	Δ, кг/дм^3	$(\psi)\ \chi = l_0/l_{км}$	$\frac{L_{ст}}{d}$
100	124	1700	0,50	1,02	14
200	120	1950	0,55	1,09	23
300	117	2200	0,59	1,18	31
400	114	2400	0,62	1,28	38
500	112	2600	0,64	1,39	44
600	110	2800	0,66	1,50	51
700	108	2950	0,67	1,61	57
800	107	3100	0,68	1,73	64
900	106	3250	0,69	1,85	71
1000	105	3350	0,69	1,98	78
1100	104	3450	0,70	2,11	85
1200	104	3550	0,71	2,25	91
1300	103	3650	0,71	2,40	98
1400	103	3750	0,72	2,57	105
1500	102	3900	0,73	2075	112
1600	102	4000	0.74	2,95	119

Коэффициент использования заряда находят из отношения $C_E / C_\omega = \eta_\omega = E_0 / \Delta W_0$. Задаваясь η_ω, определяют массу заряда $\omega = E_0 / \eta_\omega$.

Используя значения скорости $V_{табл}$, параметра B и плотности заряжания по прил. 3, находят λ_q.

После определения основных параметров заряжания p_m, η_ω, ω, $L_{ств}$ необходимо установить наиболее оптимальное значение плотности заряжания Δ. Для автоматического стрелкового оружия с целью уменьшения длины патрона Δ принимают близкой к предельной. Оценка результатов расчёта производится по конструктивному анализу длины каморы $L_{км}$ и длины ствола $L_{ств}$, а также по коэффициенту $\eta_к = \lambda_к / \lambda_q$, характеризующему полноту

сгорания пороха. Допустимое значение $\eta_к$ определяют по графику рис. 8.4.

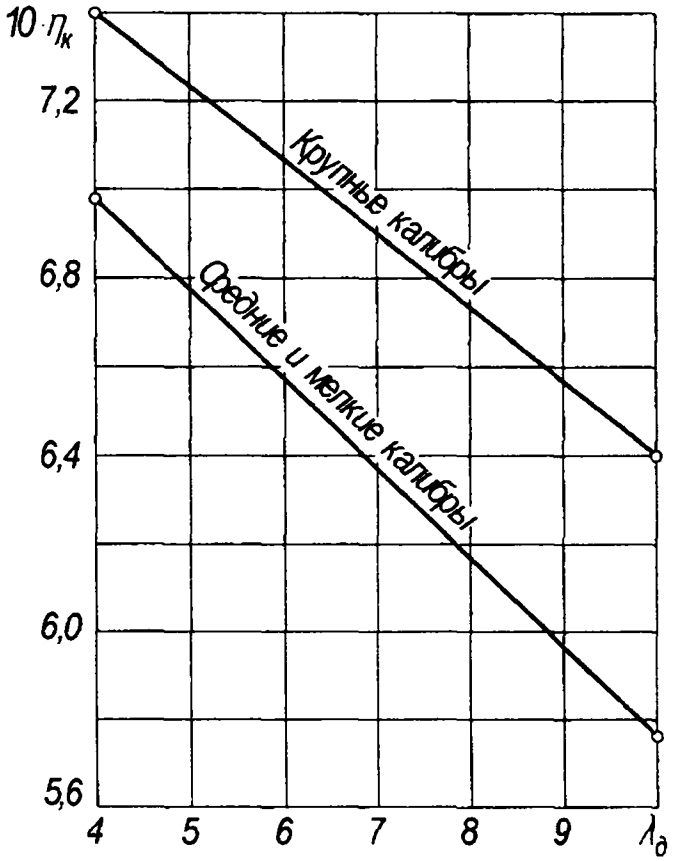


Рис. 8.4. Зависимость длины канала ствола от числа объёмов расширения каморы

Далее, как указывалось выше, по $V_{табл}$ определяют дульную скорость пули $V_д$ и толщину горящего свода порохового заряда $2e_1$.

Пример 8.1. Подобрать оптимальные условия заряжания к патрону 7,62 мм, обр. 1943 г.

Дано: d = 7,62 мм = 0,0762 дм; q = 8 г = 0,008 кг; V_0 = 738 м/с; p_m = 3000 кгс/см^2 (300 МПа); ψ=1,3.

Требуется подобрать оптимальные параметры ствола и патрона: $l_{ств}$, W_0, ω, p_m, $2e_1$, Δ, φ.

Решение. Задаёмся тремя значениями плотности заряжания Δ и четырьмя значениями коэффициента объёмов расширения $\lambda_д$, (бутылочностью гильзы ψ).

1.Определяем коэффициент могущества для ориентировочного выбора значений плотности заряжания, коэффициента бутылочности и коэффициента $\lambda_{ср}$ по таблице Слухоцкого:

$$E_0 = \frac{qV^2}{2g} = \frac{0{,}000008 \cdot 518400}{19{,}6} = 0{,}212 \text{ тм};$$

$$C_E = \frac{E_0}{d^3} = \frac{0{,}212}{0{,}00044} = 48{,}0 \text{ тм/дм}^3.$$

Задаёмся ψ=1,3, Δ=0,70; 0,80; 0,83 (по аналогам калибра) и $\lambda_д$=7; 8; 9; 10.

2. По значениям $\lambda_д$, p_m находим по ТБР (прил. 3):

$$V_{табл} = V_0 \sqrt{\frac{\varphi_q}{\omega}}.$$

Полученные значения $V_{табл}$ для различных Δ и $\lambda_д$ сводим в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Варианты значений $V_{табл}$

Δ	$\lambda_д$			
	7	8	9	10
0,70	1744	1789	1827	1860
0,80	1657	1702	1743	1780
0,83	1622	1668	1712	1750

3. По значениям $V_{табл}$ и V_0 находим $\frac{\omega}{q} = \frac{1{,}1}{\left(V_{табл}/V_0\right)^2 - 0{,}28}$ (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Варианты расчёта ω/q для принятых значений Δ и $\lambda_д$

Δ	$\lambda_д$			
	7	8	9	10
0,70	0,208	0,196	0,188	0,181
0,80	0,231	0,219	0,208	0,198
0,83	0,242	0,228	0,215	0,206

4. Находим l_0/d и сводим в табл. 8.4 $\frac{l_0}{d} = \frac{1}{n_s} C_q \frac{\omega}{q} \cdot \frac{1}{\Delta}$,

$$\frac{l_0}{d} = \frac{\omega}{0{,}82 \cdot d^3 \cdot \Delta},\ C_q = \frac{0{,}008}{0{,}0762^3} = 18{,}18.$$

Таблица 8.4

Значения l_0/d

Δ	$\lambda_д$			
	7	8	9	10
0,70	6,03	6,22	5,97	5,74
0,80	6,41	6,08	5,77	5,49
0,83	6,45	6,07	5,73	5,48

5. Вычисляем относительную длину ствола $L_{кн}/d$:

$L_{кн}=l_д+l_{км}$ задаёмся $\psi=1,3$

$$\frac{L_{кн}}{d}=\frac{l_0}{d}\left(\lambda_д+\frac{1}{\psi}\right)$$ (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Значения $L_{кн}/d$

Δ	$\lambda_д$			
	7	8	9	10
0,70	46,85	54,54	58,33	61,81
0,80	49,80	53,32	56,37	59,12
0,83	50,11	53,23	55,98	59,01

Зная, что у автоматического стрелкового оружия длина ствола $L_{ств}$=450…600 мм, выбираем

$L_{кн}/d$ =59,12; $L_{кн}$=450 мм;

$L_{ств}=450+l_{дна}=450+4,5=454,5$ мм;

$\lambda_д=10$; $\Delta=0,80$; $\psi=1,30$.

Вычисляем массу заряда: $$\omega=\frac{1,1}{\left(V_{табл}/V_0\right)^2-0,28}.$$

($\Delta=0,80$; $\lambda=10$) $\omega=0,198\cdot0,008=0,00158$ кг =1,58 г.

7. Определяем объём зарядной каморы W_0:

$$W_0=\frac{\omega}{1,3}=0,00122 \text{ дм}^3.$$

8. Определяем $l_{км}$:

$l_{км}=\frac{l_0}{\psi}$ берём из табл. 8.5; $\frac{l_0}{d}=5,49$; l_0=0,418 дм.

$$l_{км}=\frac{0,418}{1,3}=0,321 \text{ дм}.$$

9. Проверяем полноту сгорания порохового заряда $\eta_к = \lambda_к / \lambda_д$.

При Δ=0,80; $\lambda_д$=10; p_m=300 МПа по ТБР находим *B*.

$\lambda_к$=5,159; $\eta_к = \frac{5,159}{10} = 0,52$.

Длина ствола обеспечивает полное сгорание порохового заряда при ω=1,58 г.

10. Вычисляем импульс пороха:

$$J_0 = d\frac{C_q}{n_s}\sqrt{\frac{Bf \cdot \omega/q \cdot \varphi}{d}}.$$ *B*=2,625 из ТБР по Δ и p_m, *f*=800000...950000 кг·дм/кг.

J_0=1,1+0,28·0,198=1,155.

$$J_к = 0,0762\frac{18,18}{6,28}\sqrt{\frac{2,625 \cdot 80^4 \cdot 0,198 \cdot 1,155}{98,1}} = 118,3 \text{ кгс·с/дм}^2.$$

11. Приняв скорость горения пороха $u_1 = 0,8 \cdot 10^{-5}$ дм·м^2/с·кгс, получим толщину горящего свода:

$2e_1 = 2J_к \cdot u_1 = 2 \cdot 118,3 \cdot 0,8^{-5} = 236,6 \cdot 0,8^{-5} = 189,28 \cdot 10^{-5}$ дм = = 0,00189 дм =0,189 мм.

12. Сводим основные параметры в таблицу:

Параметры	p_m	Δ	ω	W_0	$l_{км}$	$L_{ст}$	ψ	$\eta_к$	$2e_1$	$\lambda_д$
Значения	300	0,80	0,00158	0,00122	0,321	4.55	1,3	0,52	0,00189	10

Пример 8.2. Определить основные баллистические характеристики системы "ствол-патрон" по таблицам В.Е. Слухоцкого.

Дано: *d*=14,5 мм=0,145 дм; $q_п$=64 г=0,000064 кг; V_0=1000 м/с.

Требуется определить основные конструктивные характеристики: $L_{ств}$, W_0, ω, p_m, $\eta_ω$, Δ, $l_{км}$, ψ.

Решение. 1.Находим дульную энергию:

$$E_0 = \frac{qV_0^2}{2q} = \frac{0,000064 \cdot 1000000}{19,6} = 3,265 \text{ тм}.$$

2. Определяем коэффициент могущества:

$$C_E = \frac{E_0}{0{,}1^3} = \frac{3{,}265}{0{,}003} = 1088 \frac{\text{тм}}{\text{дм}^3}.$$

3. По C_E входим в таблицу Слухоцкого (табл. 8.1) и определяем:

- максимальное давление пороховых газов

p_m=3362 кгс/см^2 (336 МПа);

- плотность заряжания

Δ=0,70 кг/дм^3;

- коэффициент использования заряда

η_ω=105 тм·кг;

- относительную длину ствола

$$\frac{L_{\text{ств}}}{d} = 84{,}2;$$

- коэффициент бутылочности гильзы

ψ=2,09.

4. Находим массу заряда:

$$\omega = \frac{Eq}{\eta_\omega} = \frac{3{,}265}{105} = 0{,}031 \text{ кг} = 31 \text{ г}.$$

5. Находим объём зарядной каморы:

$$\Delta = \frac{\omega}{W_0}; \qquad W_0 = \frac{\omega}{\Delta} = \frac{0{,}031}{0{,}70} = 0{,}044 \text{ дм}^3.$$

6. Определяем длину ствола:

$$\frac{L_{\text{ств}}}{\alpha} = 84{,}2; \; L_{\text{ств}} = 84{,}2 \cdot 0{,}145 = 12{,}2 \text{ дм}.$$

Полная длина ствола $L_{\text{ств}}$ плюс толщина дна гильзы:

$L_{\text{ств пол}}=L_{\text{ств}}+0{,}62\cdot\alpha=12{,}2=0{,}09=12{,}29$ дм.

7. Определяем длину каморы $l_{\text{км}}$:

$$l_{\text{км}} = \frac{l_0}{\psi}; \qquad l_0 = \frac{W_0}{\Delta \cdot 0{,}82 d^2}. \; l_0 = \frac{0{,}044}{0{,}7 \cdot 0{,}0172} = 3{,}67 \text{ дм},$$

$$l_{\text{км}} = \frac{3{,}67}{2{,}09} = 1{,}76 \text{ дм}.$$

8. Полученные параметры сводим в таблицу:

Параметры	$L_{\text{ст}}$	$l_{\text{км}}$	Δ	W_0	ω	p_m	q	V_q	C_q
Значения	12,29	1,76	0,70	0,044	0,31	336	0,064	1000	21,33

9. Проверяем полноту сгорания порохового заряда:

$\eta_к = \frac{\lambda_к}{\lambda_q}$, где $\eta_к$ – коэффициент полного сгорания порохового заряда, для чего определяем $V_{табл}$:

$$V_{табл} = \frac{V_0}{\sqrt{\omega/q\varphi}} = \frac{1000}{\sqrt{0{,}031/0{,}079}} = 1587;$$

$$\varphi = 1{,}1 + 0{,}28\frac{\omega}{q} = 1{,}236.$$

Входим в ТБР (прил.3), по значению Δ и $V_{табл}$ находим λ_q=4,48, а по значению Δ и p_q – $\lambda_к$=2,017=2,02.

Определяем $\eta_к = \frac{2{,}02}{4{,}48} = 0{,}450$ – меньше 0,6...0,7.

Следовательно, длина ствола обеспечивает полное сгорание порохового заряда. Полученные данные сравниваем с конкретными требованиями ТЗ.

8.3.Пороха для патронов стрелкового оружия

Пороховой заряд подбирают по величине дульной скорости, характеру нарастания давления, плотности заряжания и другим параметрам.

Порох – взрывчатое вещество, являющееся источником энергии движения пуль, – легко воспламеняется и обычно горит параллельными слоями, что позволяет регулировать интенсивность выделения газов и управлять процессом выстрела. К порохам предъявляют следующие требования:

– достаточная мощность (работоспособность), обеспечивающая высокое метательное или воспламеняющее действие;

– определённая чувствительность к механическим и тепловым импульсам, создающая условия для безотказного действия боеприпасов и обеспечивающая безопасность в обращении;

– неизменность физико-химических и баллистических свойств в процессе хранения;

– способность к устойчивому и закономерному горению;

– высокая механическая прочность пороховых элементов;

– бездымность и, по возможности, беспламенность при стрельбе;

– минимальное коррозионное и эрозионное действия на поверхность канала ствола;

– невысокая стоимость и недефицитность исходных материалов.

В практике патронного производства применяют две группы порохов: механические смеси и коллоидные. Механические смеси, к которым относится дымный порох, обладают высокой мощностью, но горят закономерно только при значительных плотностях пороховых зёрен с большим выделением дыма. Поэтому они почти не применяются для метательных целей и используются для изготовления воспламенителей, вышибных зарядов и других пиротехнических устройств.

Коллоидные пороха обычно горят закономерно, параллельными слоями с минимальным выделением частиц (дыма) и в основном используются для метательных целей. Основой порохов этой группы являются нитраты целлюлозы. В зависимости от растворителя, применяемого для обработки нитратов целлюлозы, коллоидные пороха подразделяют на следующие виды:

– пироксилиновые, получаемые обработкой нитратов целлюлозы спиртоэфирной смесью;

– нитроглицериновые (баллиститы), получаемые обработкой низкоазотных нитратов целлюлозы нитроглицерином или другим нитратом многоатомного спирта;

– пороха на смешанном растворителе (кордиты), получаемые обработкой высокоазотных нитратов целлюлозы (пироксилина) нитроглицерином и дополнительным летучим растворителем (ацетон, спиртоэфирная смесь и др.), который подлежит полному удалению из состава готового пороха;

– пороха на нелетучем растворителе, получаемые специальной обработкой низкоазотных нитратов целлюлозы твёрдыми желатинизаторами (пластификаторами) при повышенной температуре.

В стрелковом оружии для снаряжения патронов применяют пороха на летучем растворителе – пироксилиновые. Они состоят из пироксилина – 95...96%, спиртоэфирной смеси – 2,5%, дифениламина (стабилизатора) – 1%, воды – 1%.

По форме зёрен пироксилиновые пороха для стрелковых патронов могут быть (рис. 8.5) пластинчатыми, сферическими, зернёными (без канала, с одним и семью каналами). Некоторые пороха для улучшения баллистических свойств обрабатывают флегматизаторами, обычно камфорой. Для улучшения сыпучести пороховые зёрна обрабатывают графитом.

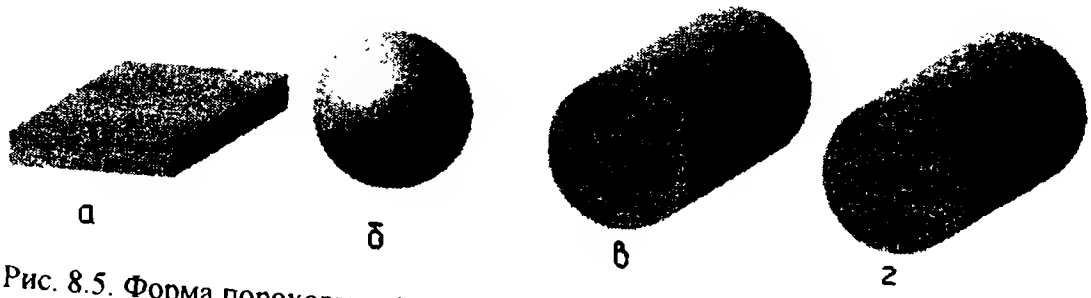


Рис. 8.5. Форма пороховых зёрен: *а* – пластина; *б* – шар; *в* – цилиндр с семью каналами; *г* – цилиндр с одним каналом (трубочный)

Плотность пороха зависит от технологии его изготовления и содержания летучих веществ и колеблется от 1540 до 1620 кг/м^3. Гравиметрическая плотность зернёных порохов, характеризующая вместимость пороха в гильзу и зависящая от его плотности, формы и размеров зёрен и способа обработки их поверхности, находится в пределах 800...1100 кг/м^3.

Физическая и химическая стабильность пороха характеризуется способностью сохранять свои свойства в процессе хранения. Уменьшение со временем летучих веществ влияет на скорость горения, а следовательно, на максимальное давление пороховых газов и начальную скорость пули. Разложение со временем пороховых компонентов, особенно при изменяющейся температуре окружающей среды, влажности и других факторов, влияет на срок пригодности пороха. Продолжительность хранения различных стабилизированных порохов составляет 20...35 лет.

Состав продуктов горения определяют сжиганием пороха в калометрической бомбе. Основную массу составляют углекислый газ CO_2 , окись углерода CO, водород H_2, азот N_2 и пары воды H_2O. Соотношение этих продуктов может изменяться в зависимости от условий заряжания и сгорания порохового заряда.

Температура горения пороха T_1 К определяет работоспособ-

ность пороховых газов и для пироксилиновых порохов составляет 2900...3200 К, для нитроглицериновых – 3000...3500 К.

Теплота взрывчатого разложения пороха $Q_п$ зависит главным образом от содержания азота в пироксилине и летучих веществ в порохе. С увеличением содержания азота работоспособность пороха возрастает, а с увеличением летучих веществ уменьшается. Теплота взрывчатого разложения пироксилиновых порохов находится в пределах $Q_п$=700...900 ккал/кг, а нитроглицериновых – $Q_п$=1000...1200 ккал/кг.

Объём пороховых газов W_1, дм^3/кг, который они занимают при давлении 760 мм рт.ст. и температуре 0°С после сжигания 1 кг пороха также определяет работоспособность пороховых газов, зависит от содержания азота и для пироксилиновых порохов находится в пределах W_1=850...950 дм^3/кг.

Сила пороха f кгс·дм/кг, характеризующая его работоспособность, может быть определена зависимостью

$$f = \frac{p_1 \cdot W_1 \cdot T_1}{273},$$

где p_1 – одна физическая атмосфера. Для пироксилиновых порохов сила пороха находится в пределах f = 900000 ... 1000000 кгс·дм/кг, для нитроглицериновых – f = 900000 ... 1200000 кгс·дм/кг.

Кроме вышеперечисленных характеристик на баллистические параметры стрельбы влияют форма и размеры пороховых зёрен, определяющие скорость горения и интенсивность нарастания давления пороховых газов. Скорость сгорания заряда зависит от изменения поверхности пороховых зёрен, которая может нарастать или убывать в процессе горения. В зависимости от этого различают пороха прогрессивной формы, дегрессивной формы и пороха с постоянной поверхностью горения.

Пороха дегрессивной формы (шар, куб, цилиндр, пластинка – рис. 8.5, *а*, *б*) характеризуются уменьшением поверхности горения пороховых зёрен. Пороха прогрессивной формы (цилиндрическое зерно с семью каналами – рис. 8.5, *в*) отличаются тем, что поверхность горения постоянно нарастает до момента распада зерна на отдельные дегрессивные кусочки. Порох с постоянной поверхностью горения имеет трубчатую форму (рис. 8.5, *г*).

Важнейшей характеристикой порохов является толщина горящего свода $2e_1$, существенно влияющая на скорость горения, максимальное давление пороховых газов и начальную скорость пули. Например, изменение толщины горящего свода $\Delta 2e_1$ может быть учтено при расчёте начальной скорости пули выражением

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta 2e_1}{2e_1}. \qquad (8.14)$$

Следует указать на то, что дегрессивный порох путём соответствующей обработки флегматизатором может быть превращён в прогрессивный по характеру горения. Так, например, сферический порох после флегматизации обладает прогрессивными свойствами, сохраняя высокую плотность заряжания за счёт своей формы.

Скорость горения u_1 зависит от химического состава пороха, конструкции пороховых зёрен, внешнего давления, температуры и других факторов. Для пироксилиновых порохов $u_1 = (0{,}6\ldots1{,}0)\cdot10^{-5}$ дм·дм^2/кгс·с, для нитроглицериновых $u_1 = (0{,}6\ldots0{,}9)\cdot10^{-5}$ дм·дм^2/кгс·с.

Импульс пороха J_1, определяющий интенсивность нарастания давления пороховых газов, зависит от скорости горения u_1 и толщины горящего свода $2e_1$:

$$J_1 = \frac{e_1}{u_1}. \qquad (8.15)$$

Импульс пороха – важнейшая баллистическая характеристика, существенно влияющая на параметры заряжания и начальную скорость пули.

В последнее десятилетие для снаряжения патронов к стрелковому оружию широко применяются лаковые пороха – самостоятельная группа бездымных порохов, полученных из лака нитроцеллюлозы в органическом растворителе.

По способу получения лаковые пороха подразделяют на пороха эмульсионного и экструзионного изготовления, по форме пороховых элементов – на сфероидные и эллипсоидные, по плотности – на плотные и пористые.

Пороха применяются для зарядов к патронам стрелкового оружия, для артиллерийских и минометных выстрелов.

Лаковые пороха имеют специальную маркировку, где первая

прописная буква обозначает: С – для патронов стрелкового оружия; П – для зарядов из пористых порохов; А – для зарядов артиллерийских выстрелов; М – для зарядов к минометным выстрелам.

Вторая прописная буква: С – сфероидные; Е – эллипсоидные.

Третья прописная буква обозначает содержание высокоэнергетического компонента, содержание которого в порохе более 3%: Н – нитроглицерин; Д – диэтиленгликольдинитрат; Г – гексоген; О – октаген. При наличии двух или более высокоэнергетических компонентов их следует обозначать в порядке убывания содержания в порохе.

Для порохов С, А и М в числителе указывается средний размер горящего свода в сотых долях миллиметра (или средний диаметр для порохов сфероидной формы), для пороха П – насыпная плотность в граммах на кубический дециметр. В знаменателе для всех порохов указывают среднюю удельную теплоту горения в мегаджоулях на килограмм.

Пример: ССНф 30/3,69 – порох для патронов к стрелковому оружию, сфероидной формы, содержащий нитроглицерин, флегматизированный, со средним размером горящего свода 0,3 мм, с удельной теплотой горения 3,69 МДж/кг.

При применении порохов для других целей маркировка не изменяется.

Для отечественных патронов стрелкового оружия применяют следующие марки порохов:

П-45, П-125 – пористые пороха трубчатой формы (число означает примерное количество калиевой селитры (в сотых долях процента), вводимой в пороховую массу при фабрикации пороха);

Х(Пл 10-12) – порох для холостых патронов пластинчатой формы. Первое число означает толщину горящего свода в сотых долях миллиметра, второе – длину (ширину) пластинки в десятых долях миллиметра;

ВТ – винтовочный порох трубчатой формы, флегматизированный и обработанный графитом;

ВТЖ – порох трубчатой формы для холостых патронов, с уменьшенным количеством летучих веществ, обработанный графитом;

4/7 – семиканальный порох с толщиной горящего свода 0,4;

4/7 Цгр – семиканальный порох с толщиной горящего свода 0,4 мм, с содержанием церизина, графитизированный;

5/7 н/а – семиканальный порох с толщиной горящего свода 0,5 мм, низкоазотный;

ВУфл – порох зерненный, одноканальный, флегматизированный и графитизированный, к патронам обр. 1943 г.;

ВУфл 5,45 – то же, но к патронам клб. 5,45 мм;

ССНф 30/3,69 – порох лаковый, сфероидный, для патронов клб. 5,45 мм;

ССНф 30/3,97 – то же, но к патронам клб. 7,62 мм обр. 1943 г.;

ПСН 780/4,37 – порох лаковый, пористый, для пистолетных патронов;

ПСН 850/4,37 – порох лаковый, пористый, для пистолетных патронов клб. 5,45 мм.

Полная марка пороха содержит, кроме того, номер партии, год изготовления, шифр или номер завода-изготовителя, например:

,

что означает винтовочный порох, 4-я партия, 1958 г., завод "Т".

В табл. 8.6 приведены размеры пороховых зёрен и содержание летучих веществ для некоторых марок порохов.

При подборе зарядов нередко прибегают к смешиванию различных видов порохов, добиваясь оптимальных значений баллистических характеристик патрона.

Таблица 8.6

Размеры зёрен и содержание летучих веществ некоторых порохов

Патрон	Марка пороха	Размеры зёрен, мм			Содержание летучих веществ, %		
		$2e_1$	$d_{кан}$	l	общее	удаляемых	неудаляемых
1	2	3	4	5	6	7	8
9-мм пистолетный	П-125	0,30-0,40	0,10-0,20	≥1.1	2	1,0-1,8	0,2
7,62-мм пистолетный, револьверный и холостой обр.1943 г.	П-45	0,27-0,37	0,10-0,20	≥1,3	1,8	1,0-1,6	0,2

1	2	3	4	5	6	7	8
Холостой винтовочный	Х(Пл. 10-12)	0,08-0,16	0,8-1,3 (ширина)	0,8-1,3	2,0	1,0	0,2
Обр. 1943 г.	ВУфл	0,20-0,25	0,07-0,15	0,85 - 1,25	3,2	1,0-1,6	0,7
Винтовочный	ВТ	0,30-0,35	0,1-0,2	1,7-2,0	3,3	1,0-1,8	1,0
Холостой 14,5-мм	ВТЖ	0,30-0,35	0,1-0,2	1,7-2,0	1,8	0,5-1,2	0,2-0,6
12,7-мм	4/7	0,5-0,6	0,15-0,25	2,5-3,5	3,5	1,0-1,8	0,6
14,5-мм	5/7	0,4-0,5	0,15-0,25	2,9-3,8	3,3	1,0-1,8	0,6

8.4. Капсюли-воспламенители

Капсюли-воспламенители предназначены для воспламенения пороховых зарядов в патронах стрелкового оружия, в капсюльных трубках и втулках артиллерийских боеприпасов и т.п. Различают патронные и трубочные капсюли-воспламенители. В патронных капсюлях срабатывание ударного состава происходит в результате его динамического сжатия бойком на наковальне (ударные капсюли). Действие трубчатых капсюлей происходит в результате накола ударного состава острым жалом бойка (накольные капсюли).

К капсюлям-воспламенителям предъявляют следующие требования:

– безотказность действия при ударе бойка;

– надёжность воспламенения порохового заряда;

– однообразие действия по силе и времени срабатывания, обеспечивающее стабильность баллистических характеристик оружия;

– стойкость к сотрясениям при выстреле;

– безотказность в служебном обращении и в процессе производства;

– неизменность физико-химических свойств ударных составов и механических свойств корпуса при хранении;

– простота конструкции, дешевизна и недефицитность исходных материалов.

В производстве применяют две разновидности конструкций патронных капсюлей-воспламенителей: без наковальни и с собственной наковальней.

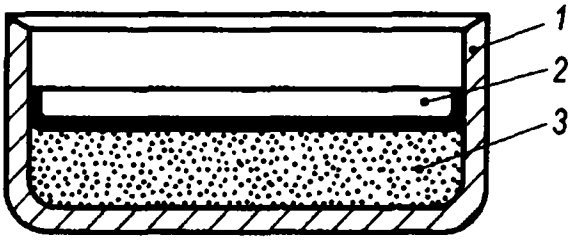


Рис. 8.6. Схема патронного капсюля-воспламенителя: *1* – чашечка; *2* – ударный состав *3* –покрытие;

Капсюли без наковальни имеют простейшую конструкцию (рис. 8.6), различающуюся в зависимости от мощности размерами. Они состоят из металлической чашечки *1*, в которую запрессован ударный состав *2*, закрытый металлической фольгой или пергаментом *3*.

Внутренняя поверхность чашечки лакируется для лучшего закрепления ударного состава и предотвращения химического взаимодействия с металлом. Ударный состав изготавливают по специальному рецепту и запрессовывают в чашечку под давлением, обеспечивающим определённую чувствительность и невозможность разрушения при транспортировке.

Внутренняя поверхность покрытия из фольги, пергамента или даже бумаги для лучшего сцепления с составом лакируется шеллачно-канифольным лаком. Бумажное покрытие с наружной стороны обрабатывают парафином.

Суммарную толщину ударного состава, фольги и дна чашечки называют высотой ударного состава. Она учитывается при сопряжении капсюля с капсюльным гнездом и должна иметь стабильный размер. При необходимом увеличении дозы ударного состава дополнительную его часть располагают по периферии чашечки за счёт фигурного торца пуансона прессовки.

Конструкция капсюлей-воспламенителей с собственной наковальней показана на рис. 8.7. Устройство их более сложное и включает в себя чашечку *2* с ударным составом *4*, наковальню *1*, размещённые в корпусе *5*. Такой вид капсюлей применяют в охотничьих патронах, в некоторых конструкциях артиллерийских патронов малого калибра и в зарубежных образцах.

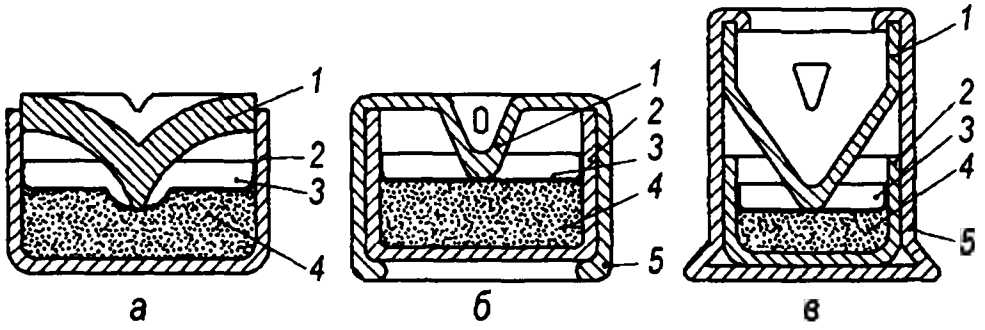


Рис. 8.7. Схема патронных капсюлей-воспламенителей с наковальней: *а* – капсюль Праймера; *б* – капсюль Норденфельда; *в* – капсюль Жевело; *1* – наковальня; *2* – чашечка; *3* – покрытие; *4* – ударный состав; *5* – корпус

Для изготовления чашечек и корпусов капсюлей применяют латунь Л68 и медь (охотничьи и миномётные патроны). Иногда используют томпак как заменитель латуни и меди. Некоторые капсюли (чашечки) для охотничьих патронов изготавливают из мягкого железа с обязательным меднением, латунированием или лакированием во избежание их коррозии.

Толщина материала для чашечек патронных капсюлей находится обычно в пределах 0,4...0,9 мм в зависимости от назначения и мощности капсюля.

Для покрытия ударного состава применяют кружки из оловянистой или свинцовой фольги, а также из пергамента и бумаги. Фольговые и пергаментные кружки имеют толщину 0,05...0,08 мм.

Рецептура ударного состава капсюлей, его количество и качество должны отвечать следующим требованиям:

– достаточная чувствительность к удару или наколу;
– высокая воспламеняющая способность;
– безопасность в служебном обращении с боеприпасами;
– отсутствие химического взаимодействия между отдельными компонентами состава и его стойкость при хранении;
– химическая инертность по отношению к металлическим элементам капсюля;
– отсутствие вредного воздействия продуктов разложения ударного состава на поверхность канала ствола и окружающую среду.

В зависимости от технических условий в ударные составы мо-

гут входить регулирующие примеси, повышающие температуру пламени и создающие форс огня с раскалёнными твёрдыми частицами; сенсибилизаторы, повышающие чувствительность составов к удару или наколу; флегматизаторы, понижающие чувствительность ударных составов; связывающие вещества, улучшающие сыпучесть и технологичность при дозировании составов.

В патронном производстве чаще всего применяют гремучертутнохлоратные составы, состоящие их трёх компонентов: гремучей ртути $Hg(ONC)_2$ (инициатор), хлората калия $KClO_3$ (окислитель) и антимонита Sb_2S_3 (горючее). Рецептура некоторых составов приведена в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Рецептура гремучертутнохлоратных ударных составов, %

Капсюли-воспламенители	$Hg(ONC)_2$	$KClO_3$	Sb_2S_3
Револьверного патрона	25,0	37,5	37,5
Винтовочного патрона	16,0	55,5	28,5
Патрона миномётного выстрела	35,0	40,0	25,0
Капсюльных втулок	25,0	37,5	37,5
Пистолетного и винтовочного патронов (германские)	22,5	40,0	37,5*
Трубочные	25,0	37,5	37,5
Трубочные	28,0	36,0	36,0
Трубочные	50,0	25,0	25,0**
Капсюль Жевело	50,0	33,0	17,0
Малокалиберного патрона	50,0	30,0	20,0

* В составе антимонита содержится измельчённое стекло.

** Антимонит гранулирован 4%-ным шеллачным лаком.

Гремучертутнохлоратные ударные составы с антимонитом достаточно чувствительны к ударам, относительно безопасны в обращении, дают необходимый луч огня, стойки при хранении, что проверено длительным сроком их применения, просты в изготовлении и сравнительно дешевы.

Их недостатком является взаимодействие с металлом чашечек, что требует специальных защитных покрытий (лакирования, никелирования). Продукты их разложения негативно действуют на поверхность канала ствола, уменьшая живучесть оружия. При сгорании ударного состава образуются газообразные и твёрдые продукты. К последним относятся хлорид калия KCl и перекись сурьмы Sb_2O_3. Они способствуют образованию сульфитов и

сульфатов калия K_2SO_3 и K_2SO_4, твёрдые частицы которых образуют нагар, приводят к коррозии и эрозии поверхности канала ствола, в результате этого уменьшается живучесть стволов.

Одним из средств борьбы с коррозией является замена гремучертутнохлоратных ударных составов другими – некорродирующими (неоржавляющими). В качестве инициаторов в таких составах применяют тринитрорезорцинат свинца $C_6H(NO_2)_3O_2PbH_2O$ или динитродиазофенол $C_6H_2(NO_2)ON_2$. Эти вещества позволяют добиться хорошей воспламеняющей способности капсюлей. Недостаточная чувствительность к удару вызывает необходимость введения в состав сенсибилизатора (тетразена $C_2H_8ON_{10}$) в количестве 1 – 3%. В качестве окислителя применяется часто нитрат бария, а в качестве горючего – антимонит, алюминий, цирконий, ферросилиций и др. Некоторые рецептуры неоржавляющих ударных составов приведены в табл. 8.8.

Дозы ударного состава в патронных капсюлях-воспламенителях находятся в пределах 0,02...0,03 г в зависимости от мощности капсюля. В трубочных капсюлях доза составляет в среднем 0,13 г (у мощных до 0,2 и маломощных до 0,03 г). Давление прессования состава обычно достигает 1100-1400 кгс/см^2, что обеспечивает необходимую прочность состава и достаточную чувствительность к удару.

Таблица 8.8

Рецептуры неоржавляющих ударных составов, %

Компоненты	Варианты рецептур							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Диазодинитрофенол	—	—	—	—	—	—	—	16,5
Динитрорезорцинат свинца	—	—	50	—	—	—	—	—
Тринитрорезорцинат свинца	50	30	—	38,5	40	25	11,2	18,7
Тетразен	1,5*	1,5*	2*	3	—	1,5	2,3	—
Нитрат бария	45	49	40	38,5	35	45	73,6	44,8
Двуокись свинца	—	—	—	—	5	—	—	—
Силицид кальция	—	—	—	—	20	5,5	—	—
Алюминий	5	—	10	—	—	—	4,8	—
Цирконий	—	21	—	—	—	23	—	—
Антимонит	—	—	—	10	—	—	8,1	20,0
Ферросилиций	—	—	—	10	—	—	—	—

* Сверх 100%.

Чувствительность патронных капсюлей-воспламенителей к удару зависит от чувствительности инициатора; процентного соотношения и степени измельчения компонентов, величины давления прессования состава; от толщины дна чашечки и покрытия; механических характеристик материала чашечки и покрытия; глубины посадки капсюля в капсюльное гнездо; формы и размеров наковальни; формы, размеров и выхода бойка; силы боевой пружины.

Из-за большого числа факторов, влияющих на чувствительность, надёжной оценкой её может служить только опытное определение, которое производят на специальных копрах. Чувствительность каждого вида капсюлей характеризуют верхним и нижним пределом чувствительности.

Нижним пределом чувствительности (пределом безопасности) считают ту максимальную высоту, при падении с которой груза определённого веса на капсюль ещё не происходит воспламенение состава. Предел безопасности не допускает воспламенения капсюлей в процессе производства, транспортировки, производства и применения патронов в условиях значительных сотрясений.

Верхним пределом чувствительности (пределом безотказности) считают минимальную высоту, при падении с которой такого же груза все капсюли воспламеняются. Предел безотказности определяет уровень стабильности действия капсюлей при минимальной силе боевой пружины в оружии.

Для испытания капсюли вставляют в гильзы, удовлетворяющие чертежам и техническим условиям. Бойки для разбития капсюлей также должны удовлетворять требованиям чертежей и ТУ. Для проведения опытов груз устанавливают на верхнем или нижнем пределе высоты по техническим условиям.

При разработке новых капсюлей-воспламенителей или при изменении материалов и технологии изготовления существующих капсюлей, а также для периодического контроля строят кривые чувствительности (рис. 8.8).

Опыты проводят при установке груза на различных высотах в диапазоне нижнего и верхнего пределов. Для каждой высоты испытывается одинаковое количество капсюлей, например 100 шт. Верхний и нижний пределы грузов закрепляют двойным количе-

ством испытываемых капсюлей. По полученным данным строится график с координатами: высота падения груза – процент воспламенения капсюлей. Кривые чувствительности являются средством производственного контроля капсюлей и технологии их изготовления.

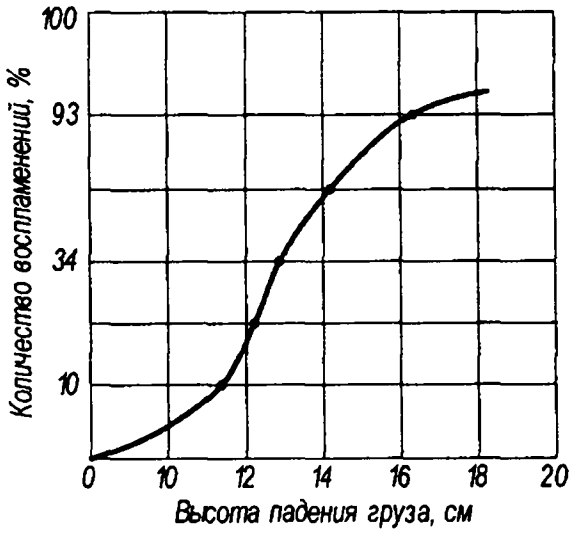


Рис. 8.8. Кривая чувствительности капсюлей

Кривые строятся для каждой десятой партии, но не реже одного раза в месяц. При повседневных контрольных испытаниях капсюлей-воспламенителей ограничиваются определением верхних и нижних пределов. Например, для капсюлей винтовочных патронов установлен груз 307±1 гс, нижний предел с допускаемым числом воспламенений капсюлей до 0,5% принят равным 10 см, а верхний предел с числом допускаемых осечек 0,5% – 35 см. Для испытания капсюлей крупнокалиберных патронов принят тот же груз, а крайние пределы равны соответственно 10 и 45 см.

Аналогичным образом определяют чувствительность трубочных капсюлей-воспламенителей, только в качестве бойка используют стандартное жало, изготовленное из незакалённой стали с содержанием углерода 0,8...1,2% и твёрдостью HRC 84-88.

На чувствительность к наколу обычно испытывают по 100 капсюлей-воспламенителей для каждого предела высоты. Требования чувствительности трубочных капсюлей к наколу таковы: вес груза 200 гс, нижний предел высоты 0,5 см, верхний предел 4-6 см с числом допускаемых воспламенений (отказов) до 1%.

9. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ИЛИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПАТРОНОВ

Постановка задач и порядок выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (ОКР) определяется системой разработки и поставки продукции на производство, которая включает в себя ряд документов (ГОСТов). Конкретные требования к создаваемым патронам или их модернизации формируются темой ОКР. Основанием для выполнения работы является договор между организацией-заказчиком и предприятием-исполнителем. Предприятие-исполнитель разрабатывает план-график выполнения ОКР, конструкторскую и технологическую документацию, программу проведения опытных работ, изготавливает опытную партию изделий и проводит их испытания в установленном порядке.

9.1. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ

В общем случае выполнение ОКР разбивается на следующие этапы:

1-й этап – разработка эскизного проекта. Заключение договора на выполнение ОКР, разработка программы выполнения, создание конструкторской документации на патрон с учётом требований эскизного проекта. Проведение расчётно-экспериментальных работ и изготовление опытных образцов. Проведение патентно-информационного поиска;

2-й этап – разработка технического проекта, в котором предусмотрены анализ вариантов технологических процессов изготовления опытных партий патронов и проведение их оценочных испытаний с выбором лучшего образца в соответствии с техническим заданием;

3-й этап – разработка рабочей конструкторской документации. Изготовление опытной партии для предварительных испытаний. Составление программы предварительных испытаний. Проведение предварительных испытаний;

4-й этап – корректировка конструкторской и технологической документации по результатам предварительных испытаний. Изготовление опытной партии патронов для государственных или сертификационных испытаний;

5-й этап – проведение государственных испытаний. Корректировка конструкторской и технологической документации и их утверждение.

В зависимости от характера и сложности ОКР, степени предварительной обработки темы допускается совмещать или исключать эти этапы.

План-график выполнения ОКР разрабатывается совместно заказчиком и исполнителем и должен содержать:

– наименование этапов ОКР и перечень основных работ;

– наименование исполнителей и изготовителей опытных образцов или элементов патронов;

– сроки выполнения работ, количество изготовляемых изделий в опытной партии;

– данные по общему объёму работ и по составным частям, включая недостающее техническое оборудование.

Эскизный проект разрабатывается в соответствии с "Планом-графиком" выполнения ОКР и должен содержать следующие документы:

1) техническое задание (ТЗ или ТТЗ) на выполнение ОКР, которое разрабатывается организацией-заказчиком и согласовывается с организацией-исполнителем;

2) калькуляцию ориентировочной сметной стоимости выполняемых работ;

3) план работ поэтапно (при необходимости) с конкретными сроками выполнения и указанием исполнителей.

Как правило, разработку эскизного проекта совмещают с разработкой технического проекта. На этом этапе рассматривают варианты конструкции патрона, рассчитывают эффективность действия по цели, надёжность функционирования элементов при выстреле, ориентировочно определяют параметры условий заряжания. На основании анализа результатов расчёта выбирают наиболее предпочтительные варианты конструкций.

На этапе технического проекта составляется перечень необходимой технической документации. Разрабатываются маршрутные технологические процессы, чертежи рабочего и измерительного инструмента. Изготавливаются опытные образцы (партии образцов) в необходимом количестве для проведения оценочных ис-

пытаний в соответствии с ТЗ. Определяется оптимальный вариант конструкции патрона. Корректируется техническая документация. При необходимости изготавливается опытная партия патронов с проведением испытаний на соответствие ТЗ (ТТЗ).

Конструкторскую документацию корректируют по результатам оценочных испытаний и дополняют согласно "Перечню", разработанному на этапе технического проекта.

Изготавливается опытная партия патронов и составляется программа предварительных испытаний на основе ТЗ и конструкторской документации.

Программа испытаний должна содержать следующие разделы:

- объект испытания;
- цель испытания;
- общие положения;
- объём испытания;
- условия и порядок проведения испытаний;
- материально-техническое и метрологическое обеспечение испытаний;
- форма отчётности.

Программы должны быть оформлены в виде единого документа для каждой категории испытаний и содержать перечни конкретных проверок, которые следует осуществлять для подтверждения выполнения требований ТЗ.

Методики испытаний разрабатывают на основе ТЗ и утверждённых программ с использованием типовых методик.

По откорректированной технической документации изготавливается опытная партия патронов и проводятся приёмосдаточные испытания партии в соответствии с ТУ и чертежом. Составляются протокол испытаний и акт приёмочной комиссии.

Государственные испытания осуществляют с целью оценки боевых возможностей, проверки и подтверждения соответствия опытного образца требованиям ТТЗ в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. Испытания проводятся организацией заказчика. Оценка результатов осуществляется комиссией, назначенной заказчиком.

Опытная партия, предназначенная для государственных испытаний, должна быть принята представителем заказчика, который вырабатывает решение (заключение) о возможности их проведе-

ния. Исполнитель высылает "уведомление" заказчику о готовности к государственным испытаниям и предъявляет рабочую конструкторскую документацию, отчёт (акт) о проведении предварительных испытаний, паспорт (формуляр) приёмо-сдаточных испытаний на опытную партию.

Государственные испытания проводятся по "Программе государственных испытаний", разработанной заказчиком и согласованной с исполнителем и разработчиком изделия. Комиссия по проведению государственных испытаний обязана провести испытания в указанные сроки и составить акт по результатам испытаний, в котором отразить: соответствие изделия опытной партии требованиям ТТЗ, выводы с рекомендацией о возможности принятия изделия на вооружение и его промышленного производства.

Конструкторская документация на патрон включает:

- комплект рабочих чертежей;
- технические условия;
- комплект чертежей контрольно-измерительного инструмента;
- упаковочные чертежи.

Комплект рабочих чертежей содержит:

- спецификацию;
- сборочный чертёж патрона;
- ведомость спецификации;
- ведомость ссылочных документов;
- комплект рабочих чертежей согласно спецификации.

В рабочих чертежах изображения изделий выполняются в масштабе 1:1, 2:1, 2,5:1, 5:1 в соответствии с требованиями ЕСКД.

На сборочном чертеже обязательно должны быть указаны технические требования к патрону и основные технические характеристики.

На гильзе патрона, на донной части или на корпусе должна быть указана маркировка: условный знак изготовителя, калибр, год.

9.2. Разработка технических условий на изготовление (модернизацию) патрона

Технические условия (ТУ) являются неотъемлемой частью комплекта конструкторской документации.

ТУ разрабатываются на одно или несколько конкретных изделий. Требования, установленные ТУ, не должны противоречить обязательным требованиям государственных стандартов.

Обозначение ТУ присваивает разработчик по ГОСТ 2.201. ТУ должно содержать разделы, расположенные в следующей последовательности:

- вводная часть;
- технические требования;
- требования безопасности;
- требования охраны окружающей среды;
- правила приёмки;
- методы контроля;
- транспортирование и хранение;
- указание по эксплуатации;
- гарантии изготовления.

Вводная часть содержит наименование продукции, её назначение, область применения и условия эксплуатации.

Технические требования определяют нормы, качество и потребительские характеристики продукции. Раздел состоит из подразделов: основные параметры и характеристики, требования к сырью, материалам и покупным изделиям, комплектность, маркировка, упаковка.

В подразделе "основные параметры и характеристики" помещают: скорость пули V_x с указанием расстояния, на котором её определяют, давление пороховых газов $p_{m\,ср}$, $p_{m\,наиб}$, кучность стрельбы или другие важные параметры, улучшающие эксплуатационные характеристики при определённых условиях, характерные отличия конструкции пуль, применяемых для поражения отдельных видов целей. Здесь же формулируют требования по надёжности работы изделия в определённых климатических условиях и обеспечения безопасности при эксплуатации, устанавливаются сроки службы, а также требования стойкости изделия к внешним воздействиям. Обязательно указываются условия применения патрона, если он снаряжён усиленным зарядом.

В подразделе "требования к сырью, материалам, покупным изделиям" формируют требования к металлу, материалам для антикоррозионного покрытия и капсюлям-воспламенителям.

В подразделе "маркировка" устанавливают следующие требования:

- товарный знак или стандартное обозначение калибра;
- количество патронов;
- обозначение партии патронов, партии пороха;
- для гражданских патронов – обозначение ТУ.

В разделе *Требования безопасности* указывают требования, которые должны содержать все виды допускаемой опасности, возникающие в течение срока хранения и эксплуатации.

В разделе *Требования охраны окружающей среды* устанавливают требования для предупреждения нанесения вреда окружающей среде при испытании, хранении, транспортировании и эксплуатации.

В разделе *Правила приёмки* определяют нормы контроля, порядок предъявления и приёмки продукции, размер предъявляемой партии и объём выработки. Здесь же оговариваются условия приёмки партии или её забракования, а также устанавливается место простановки клейм, штампов, пломб, подтверждающих приёмку партии.

В разделе *Методы контроля* устанавливают приёмы, способы, режимы контроля параметров, норм, требований и характеристик патронов. Методы и условия контроля должны быть объективными, чётко сформулированными, точными, обеспечивать последовательные и воспроизводимые результаты и быть максимально приближенными к условиям использования продукции.

Для каждого метода контроля предусматривают правила отбора проб, оборудования, реактивов, последовательность подготовки к контролю, проведение контроля, методику обработки результатов.

Методы и средства контроля не указывают в ТУ, если они установлены в отраслевых или государственных стандартах.

В разделе *Транспортирование и хранение* формулируют требования к обеспечению сохранности продукции и его безопасности для окружающей среды.

В разделе *Гарантии изготовителя* указывается гарантийный срок, при котором патроны не изменяют основных характеристик.

В приложениях ТУ приводят перечень документов, на которые сделаны ссылки, краткое описание оборудования, материалов, стендов, необходимых для контроля.

ТУ, содержащие требования, относящиеся к компетенции органов госконтроля и надзора, подлежат согласованию с ними.

Разделы и подразделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа и обозначаться арабскими цифрами без точки.

9.3. Разработка технических требований к патронам

Патроны должны надёжно функционировать в любых метеорологических условиях в диапазоне температур ±50°С в пределах гарантийного срока.

К конструктивным характеристикам и функционированию патронов предъявляются следующие требования.

В процессе эксплуатации не допускаются разрушение элементов патронов, застревание пуль в канале ствола, затяжной выстрел (отсутствие выстрела в течение 2 с), продольные трещины через фланец и проточку гильзы, поперечные трещины под фланцем гильзы, отрывы фланца гильзы, неизвлечение гильзы, срабатывание капсюля-воспламенителя от инерционного накола, срыв с нарезов или демонтаж пуль внутри канала ствола и на траектории.

Допускаются при стрельбе легко устраняемые задержки: для боевых патронов – не более 0,3%; для гражданских – не более 1%.

Начальная скорость пуль V_0 принимается исходя из достаточности кинетической энергии для поражения цели и оптимальной настильности траектории.

Скорость пули выбирается с учётом сопряжения траектории с основной пулей. Разность между наибольшей и наименьшей скоростями в серийных патронах устанавливается равной: ΔV=30...40 м/с. Среднее значение разброса скорости назначается в пределах $\Delta V_{25\,ср}(\Delta V_{10\,ср})$ – 10...15 м/с. Например: для патрона 7,62 мм обр.43 г. $V_{ср}$=710...725 м/с.

Норматив по максимальному давлению пороховых газов назначается для ручного оружия и для станковых пулемётов. Наибольшее значение максимального давления пороховых газов вы-

числяется по формуле $p_{т.нб}=1,15p_{т.ср}$, где $p_{т.ср}$ – максимальное среднее давление пороховых газов, кгс/см^2 (МПа). Отечественные патроны имеют $p_{т.ср} \leq 310$ МПа – для ручного оружия или $p_{т\,ср} =$ = 300...350 МПа для пулемётов. В патронах иностранного производства $p_т$:

- для охотничьих калибров – до 4500 бар;
- для пистолетов – до 2900 бар;
- для служебных пистолетов – 1500...1800 бар.

Извлекающая пулю сила $P_{изв}$(Н):

- для малого калибра (до 9 мм) – (400...1100) Н;
- для пистолетных патронов – (200...1000) Н;
- для крупного калибра – (2500...6000) Н.

Допуск на длину патрона: –0,5...–1,2 мм;

Норматив кучности стрельбы устанавливается исходя из назначения патрона.

Наиболее сложным является назначение допусков на диаметральные и линейные размеры металлических элементов и патрона в целом. Так, на диаметр пули принимают следующие отклонения: для оружия с глубиной нарезов 0,1 мм допуск составляет 0,03 мм; с глубиной нарезов до 0,15 – 0,05 мм. Длина гильзы имеет допуск 0,12...0,35 мм, длина гильзы пистолетных патронов 0,15...0,25 мм. Допуск на длину патронов составляет 0,7...1,5 мм, на длину пистолетных патронов – 0,26...0,52 мм.

Полный объём гильзы W:

- пистолетных патронов – 0,72(9х17)...1,05(ТТ) см^3;
- малоимпульсных – 1,72(5,45)...1,84(5,56) см^3;
- промежуточных – 2,21...2,25 см^3;
- винтовочных – 3,49...4,10 см^3;
- крупного калибра – 16,0...41,0 см^3.

Допуск на диаметр фланца гильз в пределах 0,1...0,18 мм. Исключение: патроны с выступающим фланцем имеют допуск 0,3 мм.

9.4. Разработка технического задания на проектирование патрона

Техническое задание (ТЗ) на опытно-конструкторскую работу (ОКР) по отработке патрона содержит:

– титульный лист;
– наименование, основание для выполнения ОКР;
– цель выполнения ОКР, наименование и индекс образца;
– технические требования к патронам;
– порядок выполнения ОКР;
– требования к разрабатываемой документации;
– корректировка ТЗ.

Титульный лист включает:

– наименование опытно-конструкторской работы (ОКР), её номер и шифр;

– степень защиты: “для служебного пользования”, “секретно”, “коммерческая тайна”.

В верхней правой стороне титульного листа утверждающая подпись: “Утверждаю”. В верхней левой стороне титульного листа согласительная подпись: “Согласовано”, наименование организации, должность. Техническое задание обязательно согласовывается в том случае, если разработка ведётся по заказу какой-либо организации.

Наименование ОКР, основание для выполнения.

Приводится полное наименование ОКР, присвоенный ей номер и шифр источника финансирования работы.

Цель и задачи выполнения ОКР, наименование и индекс образца.

В разделе чётко формулируются цель и задачи, поставленные перед ОКР, указывается, чем должна заканчиваться работа, какие работы обязательно должен выполнить разработчик. Например: “В процессе выполнения ОКР исполнитель проводит все необходимые расчёты: по конструкции гильзы, определению баллистических характеристик, прочности пуль и гильз, запасу устойчивости пули в полёте и т.д.”

Указывается, на каком этапе выполнения работ патрону присваивается полное и сокращённое наименование.

Технические требования к патрону:

1. Состав патрона (пуля, гильза, капсюль-воспламенитель, порох);

2. Баллистические характеристики:

– начальная скорость пули, м/с и на каком расстоянии она измеряется (V_{10}, V_{25});

– разброс по скорости пули (ΔV), м/с;

– максимальное давление пороховых газов p_m, $p_{m\,ср}$ (среднее), $p_{m\,нб}$ (наибольшее), бар (для патронов к гражданскому оружию);

– разброс по максимальному давлению пороховых газов Δp, МПа;

– кинетическая энергия пули E_0 (расчётная), Дж.

3. Требования по назначению:

– основное назначение проектируемого патрона;

– характеристика рассеивания пуль (указывается, на какой дальности проводится измерение, способ определения, т.е. число серий, число выстрелов в серии);

– тип пули, её проникающая способность, бронепробиваемость, зажигаемость, экспансивность и т.д.;

– сопрягаемость траектории опытной пули с основной – норматив. Основная пуля – пуля, по которой рассчитан прицел. Задаётся дальность, на которой замеряется сопряжение траектории.

4. Надёжность и безотказность эксплуатационных характеристик.

Оговариваются безотказность работы автоматики, прочность гильз и пуль. Указывается требование по индивидуальной герметизации патронов. Разрабатываемые патроны должны обеспечивать надёжность функционирования автоматики оружия в интервале температур ±50°С.

5. Требования по эксплуатации и хранению.

Разрабатываемые патроны должны обеспечивать сохранность служебно-эксплуатационных характеристик при хранении (оговариваются срок и условия хранения) и возможность транспортирования различными видами транспортных средств, исключающих механическое повреждение патронов и их упаковки.

6. Требования по безопасности.

Разрабатываемые патроны должны быть безопасными в эксплуатации при выполнении правил эксплуатации.

7. Требования по стандартизации и унификации.

Материалы, применяемые при изготовлении разрабатываемых патронов, должны быть максимально стандартизованы и по возможности идентичны материалам, применяемым в серийном производстве аналогичных патронов.

8. Требования по технологичности.

Технология разрабатываемых патронов должна обеспечить их изготовление на типовом оборудовании, применяемом при выпуске серийных патронов. Конструкция патрона должна соответствовать типовой, позволяющей использование технологических процессов и оборудования, применяемых в серийном производстве.

9. Справочные данные.

Указываются объём гильзы, плотность заряжания и тип капсюля-воспламенителя.

Требования к разрабатываемой конструкторской и технологической документации:

1. Конструкторская и технологическая документация разрабатывается несекретной (или ДСП) в соответствии с требованиями ГОСТов, ЕСКД, научно-техническая документация на ОКР должна выполняться в соответствии с ГОСТ 15.110-81, ГОСТ 2.105-95.

2. Публикация материалов и сведений по ОКР в печати допускается совместным решением, утверждённым и согласованным предприятиями разработчика и заказчика.

9.5. Проектирование конструкторской документации на патроны к стрелковому оружию

Создание новых видов патронов – редкое явление в мировой практике. Даже небольшие изменения в конфигурации вызывают крупные изменения в производстве патронов, как правило крупносерийном и массовом.

Проектирование конструкторской документации на патроны фактически сводится к их модернизации с целью улучшения основных характеристик или снижения себестоимости.

Наиболее обоснованные причины создания конструкторской документации:

– отсутствие соответствующего комплекта документов на один из зарубежных видов патрона;

– замена дефицитного материала элементов патрона на недефицитный и недорогой;

– улучшение основных эксплуатационных характеристик.

Иностранные фирмы выпускают патроны, у которых гильза латунная, оболочка пули томпаковая или мельхиоровая. Применять дорогостоящий материал для изделия одноразового (или двухразового) использования неэкономично. В этом случае создаётся конструкция с заменой материала. В сущности, создаётся новый патрон по известному аналогу.

В соответствии с требованиями МВД РФ конструкция гражданского оружия исключает применение боевых патронов. В этом случае разрабатывается новый вид патрона и оружия на базе существующего, но с изменёнными геометрическими размерами патрона и патронника в оружии.

Разработка конструкторской документации по требованиям эскизного проекта обязательно учитывает основные принципы проектирования патрона, которые неукоснительно должны выполняться: геометрические размеры, формирующие конфигурацию патрона, должны быть максимальными, а патронника оружия – минимальными.

Основные контролируемые размеры патрона приведены на рис. 9.1, а патронника – на рис. 9.2.

Если в ТЗ ставится задача изменения конфигурации патрона, то геометрические размеры вычисляются по известным формулам. Например, такая задача может быть поставлена при выполнении требования о недопустимости производства выстрела из гражданского оружия боевыми патронами. В этом случае изменяют параметры патрона и патронника с таким расчётом, чтобы боевой патрон не входил в патронник гражданского оружия. При этом самое рациональное – изменить длину и диаметр гильзы и патронника. Иногда изменяют калибр оружия и диаметр ведущей части пули.

При оформлении эскизного проекта на патрон чётко формулируют основные технические требования по назначению и расчётом определяют: кинетическую энергию пули у цели, дальность прямого выстрела и другие характеристики, обеспечивающие специальное действие пуль. Исходя из сказанного устанавливают объём зарядной каморы, массу заряда, марку пороха, массу пули, рассчитывают и проверяют на динамическую стабильность и прочностную надёжность другие элементы патрона.

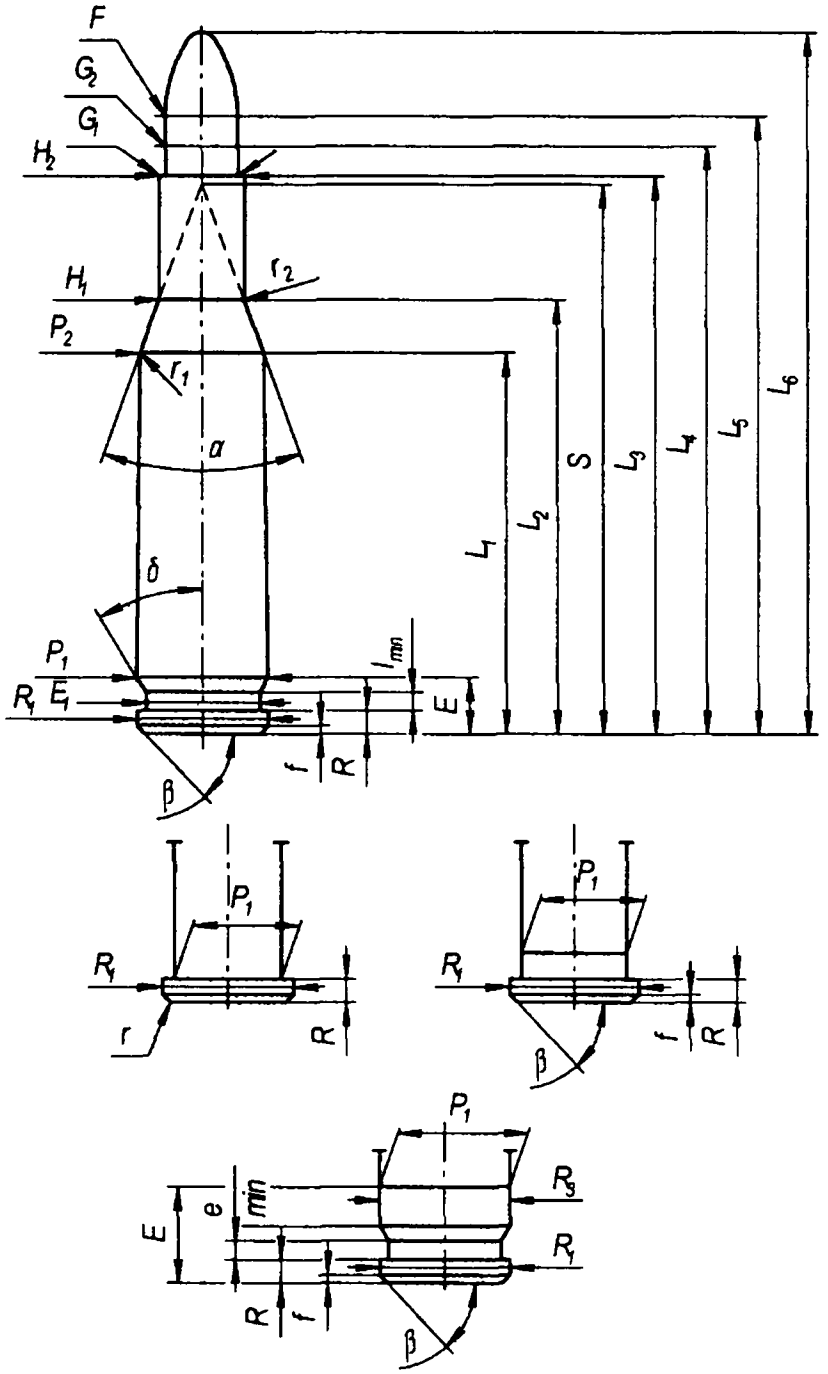


Рис. 9.1. Контролируемые размеры патрона: S – расстояние от торца фланца до вершины треугольника, образованного скатом; L_1 – длина до основания ската; L_2 – длина до вершины ската; L_3 – длина гильзы; L_4 – длина до конца конуса тупоконечной пули; L_5 – длина до диаметра F; L_6 – длина патрона; R – толщина фланца; R_1 – диаметр фланца; E_1 – диаметр проточки; L_{min} – минимальная высота проточки; r – высота фаски; β – угол фаски; P_1 – диаметр у проточки; P_2 – диаметр у основания ската; α – полный угол ската; r_1 – радиус перехода соединяющий корпус гильзы с основанием ската; r_2 – радиус сопряжения у диаметра P_2; r_2 – радиус сопряжения дульца; H_1 – диаметр вершины ската; H_2 – диаметр дульца; G_1 – диаметр ведущей части пули; G_2 – диаметр пули на длине L_4

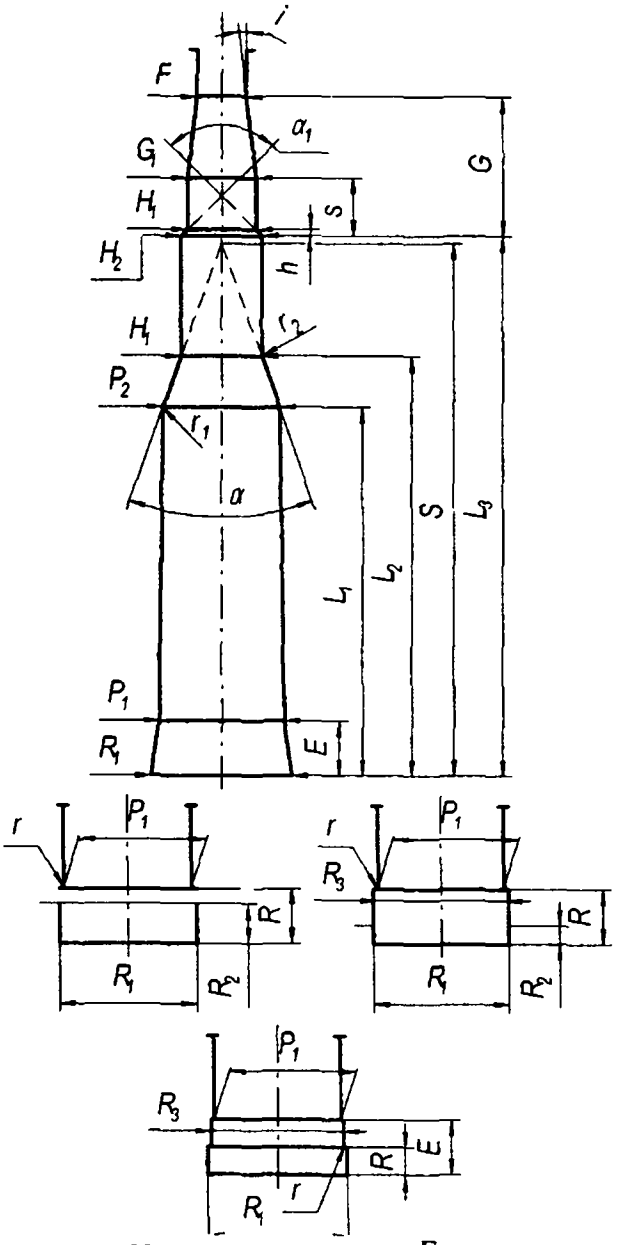


Рис. 9.2. Контролируемые размеры патронника: F – диаметр канала ствола по полям; Z – диаметр ствола по нарезам; L_1 – длина патронника до диаметра P_2; L_2 – длина патронника до диаметра H_1; L_3 – длина патронника до диаметра H_2; R – расстояние от зеркала затвора до опорной поверхности фланца гильзы у заднего торца ствола; R_1 – диаметр выемки; R_2 – глубина выемки; Z – радиус сопряжения у входа в патронник; R_3 – диаметр в передней части выемки под донной частью; E – расстояние, равное высоте донной части патрона; P_1 – диаметр у входа в патронник на расстояние E; P_2 – диаметр у начала ската на расстояние L_1; α – угол ската патронника; S – расстояние от основания до вершины ската патронника; r_1 – радиус сопряжения у диаметра P_2; r_2 – радиус сопряжения у дульца; H_1 – диаметр у основания под дульцем гильзы на расстояние между H_2 и F; h – расстояние от H_2 до H_1; S – расстояние от H_2 до конца цилиндрической части с диаметром G_1; I – половина угла конуса пульного входа; b – ширина нарезов; N – число нарезов; U – шаг нарезов

10. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЁМКА ПАТРОНОВ К СТРЕЛКОВОМУ ОРУЖИЮ

Контроль и испытание партий патронов производится работниками ОТК завода-изготовителя в присутствии представителя заказчика. Инструкциями установлены следующие категории контрольных испытаний: приёмо-сдаточные, периодические, типовые и квалификационные.

Каждая категория контрольных испытаний по составу может включать в себя несколько видов испытаний: механические, климатические, визуальные, измерительные, на надёжность и эффективность действия при стрельбе.

10.1. Приёмо-сдаточные испытания

Испытания проводят с целью контроля качества партий патронов на соответствие требованиям ТУ, установленным для данной категории испытаний, и по контрольным образцам.

На каждый вид дефекта или отклонения имеются два образца: с минимальной и максимальной допустимой степенью отклонения от нормы. Патроны, имеющие степень отклонения ниже минимальной, допускаются к приёму без ограничения, выше максимального – не допускаются. Изделия, отобранные в качестве образцов, должны быть проверены под непосредственным руководством представителя заказчика, технолога завода-изготовителя и подписаны начальником представителя заказчика, главным инженером завода, начальником ОТК и главным технологом. Испытания и приёмку проводят в объёме и последовательности, которые предусмотрены в ТУ на патрон. Результаты испытания оформляют протоколом приёмо-сдаточных испытаний. При получении положительных результатов испытаний представитель заказчика принимает партию изделий. Если результаты отрицательны, то он возвращает партию ОТК для выявления причин несоответствия требованиям ТУ, проведения мероприятий по их устранению, определения возможности исправления, о чём делается отметка в извещении на партию.

Забракованная партия после устранения дефектов подвергается дополнительной проверке ОТК (предъявительским испытани-

ем). Повторные приёмо-сдаточные испытания проводят в полном объёме в соответствии с ТУ на патроны.

В технически обоснованных случаях, с учётом характера дефектов, представитель заказчика может провести повторные испытания только по тем пунктам ТУ на патроны, по которым выявлены несоответствия изделий установленным требованиям и которые могут повлиять на возникновение аналогичных дефектов.

Принятыми считают партии патронов, которые выдержали испытания, укомплектованы в соответствии с требованиями ТУ и оформлены документами, удостоверяющими их приёмку. Каждая партия выборочно подвергается следующим испытаниям:

– контроль массы, внешнего вида и размеров патронов;

– контроль геометрических размеров патронов и их составных частей;

– разрядка патронов и контроль их составных частей после разрядки;

– контроль на коррозионную стойкость и сплошность лакового покрытия;

– испытание на герметичность;

– испытание стрельбой на безотказность, надёжность, эффективность действия и установление начальной скорости пуль и давления пороховых газов.

Контроль геометрических размеров патрона и его составных частей. Количество патронов, подвергающихся контролю по геометрическим размерам, указано в ТУ. Для этого вида контроля используют основные и допускные калибры и приборы универсального измерительного инструмента. Измерения производят по следующим параметрам: длина патрона, длина корпуса гильзы, высота фланца, диаметр и высота проточки гильзы, ширина цилиндрической части проточки, глубина посадки капсюля, диаметр фланца, корпуса и дульца гильзы, диаметр пули.

При контроле геометрических размеров боевых патронов и их составных частей применяют следующие средства измерения:

– нерегулируемые предельные калибры: скобы, пробки, кольца, скобы;

– калибры со сторонами Б и М (проходные – ПР, непроход-

ные – НЕ). Размеры стороны Б должны быть близкими к границе верхнего предельного отклонения, контролируемого размера изделия, стороны М – близкими к границе нижнего предельного отклонения размера;

– шаблоны профильные;

– микрометры со специальными вставками.

Измерение геометрических размеров патронов и их составных частей производят под действием силы тяжести инструмента или изделия, или при усилии не более 5,0 Н (0,5 кгс). Контроль патронов допускными калибрами и приборами осуществляют только в случае, когда при использовании основных калибров и приборов по данному размеру получен отрицательный результат.

Контроль массы патронов проводят с помощью автоматических весов, обеспечивающих выделение патронов с массой выше и ниже установленной. Правильность настройки проверяют перед началом работы эталоном в соответствии с инструкцией по эксплуатации весов. Легковесные и тяжеловесные патроны взвешивают повторно. При неудовлетворительном результате производят взвешивание на лабораторных весах общего назначения 3-го класса точности. Патроны, имеющие массу выше или ниже установленной чертежом, разряжают для контроля массы метательного заряда и выявления причин отклонения.

Контроль составных частей патронов при разрядке и определение извлекающей пулю силы. Для определения извлекающего усилия используют испытательную машину на растяжение с динамометром типа МР-05-1, имеющим погрешность измерения ±10 Н. Пулю извлекают плавно, до момента её отделения от гильзы, с фиксацией максимального усилия.

После демонтажа с пуль снимают растворителем Р5 лак-герметизатор и поверхность протирают фильтровальной бумагой, а затем сухой салфеткой. Далее контролируются:

– внешний вид;

– масса пуль (взвешиванием поштучно с выделением пуль, имеющих отклонение по массе, указанной в чертеже);

– масса метательного заряда (для контроля используют весы лабораторные 2-го класса точности с наибольшим пределом взвешивания до 200 г. При взвешивании выделяют заряды с ма-

лой массой, имеющей отклонения, установленные нормативом ТУ, а также визуально контролируют заряды на наличие сора и посторонних предметов. После взвешивания заряды ссыпают, после чего определяют суммарную массу пороха разряженных патронов. По суммарной массе вычисляют среднюю массу метательного заряда);

– диаметр ведущей части пули (применяют мерительные кольца из комплекта контрольного инструмента. Контроль пуль допускными калибрами производят при получении отрицательных результатов измерения основными калибрами по схеме рис. 10.1);

– внутренняя поверхность гильзы и наличие запальных отверстий (масса гильзы определяется взвешиванием на весах 3-го класса точности каждой гильзы в отдельности с фиксацией суммарного веса);

– внутренний объём гильзы измеряют путём наполнения гильзы со вставленным капсюлем спиртом из бюретки. Объём спирта в миллилитрах отсчитывают по делениям на бюретке по нижнему краю мениска;

– толщина стенки гильзы и оболочки пули, а также толщина дна гильзы измеряются микрометром со специальными вставками. Измерения производят в сечениях, указанных в чертеже.

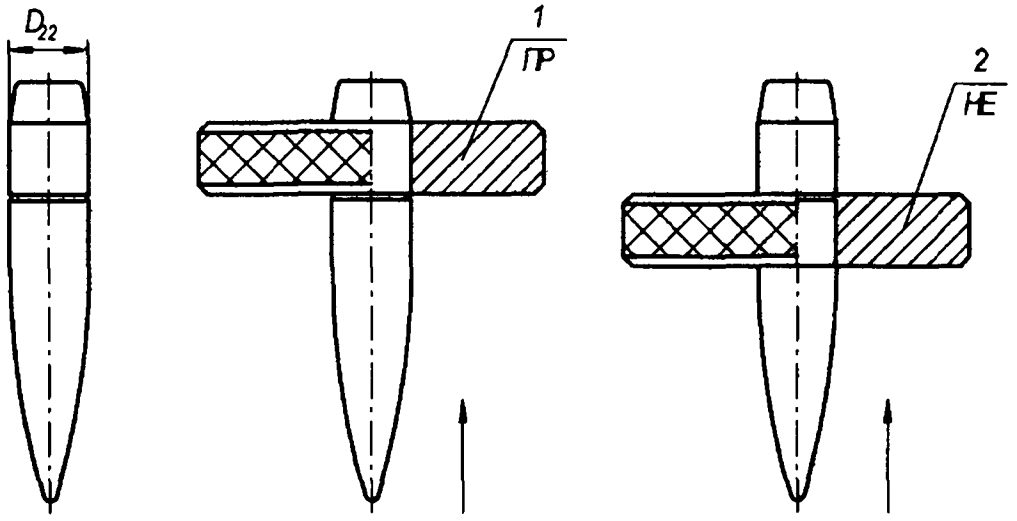


Рис. 10.1. Схема контроля диаметра ведущей части пули

Предварительно гильзы и оболочки разрезают вдоль оси. Микрометр закрепляют на подставке *3* (рис. 10.2). Измерительная поверхность вставки *2* должна иметь радиус 0,3...0,5 мм. Оболочки и гильзы калибра до 12,7 мм измеряют в двух точках, а 12,7 мм и бóльших калибров – в трёх (рис. 10.2). При измерении в двух точках каждой половины:

- для гильзы точки измерения должны быть на расстоянии не менее 1 мм от среза;
- для оболочки одну точку выбирают по среднему сечению оболочки, а другую – на расстоянии 2 мм от среза.

При измерении в трёх точках:

- для гильзы одну точку выбирают по среднему сечению, а две других – на расстоянии 3...4 мм от среза;
- для оболочки одну точку выбирают по среднему сечению, две других – на расстоянии 2 мм от среза.

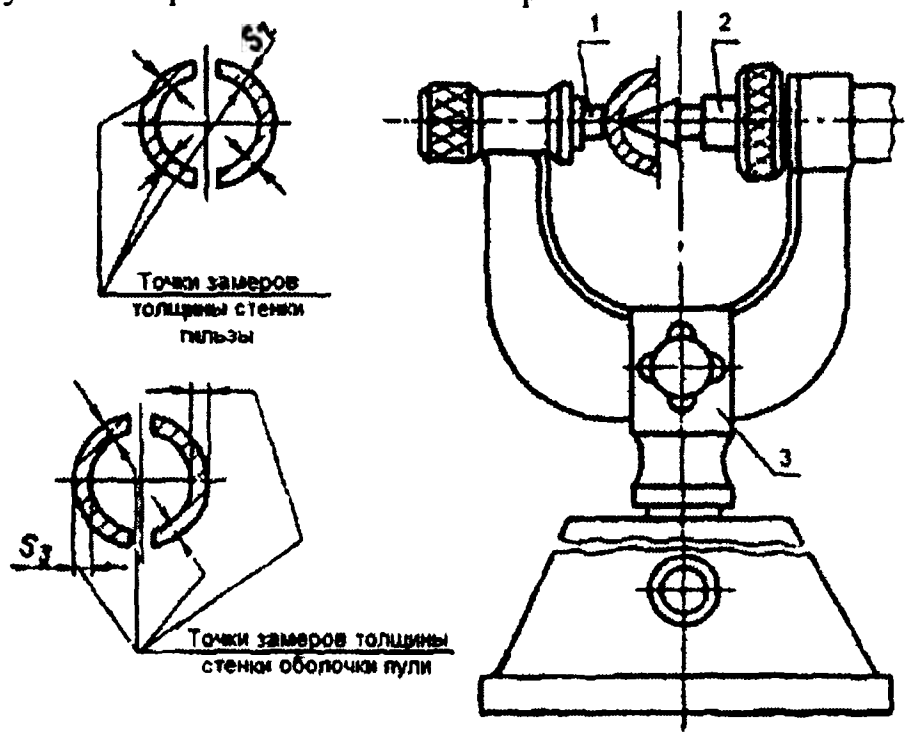


Рис. 10.2. Схема измерения толщины стенки гильзы и оболочки: *1*, *2* – вставки микрометра; *3* – подставка

Разностенность определяют как разность между наибольшей и наименьшей толщинами по результатам измерений каждой детали. Толщину дна гильзы измеряют микрометром со специальны-

ми вставками (рис. 10.3). Предварительно гильзы разрезают поперёк оси на расстоянии 3...11 мм от внутренней поверхности дна. Измерение производят в четырёх противоположных точках.

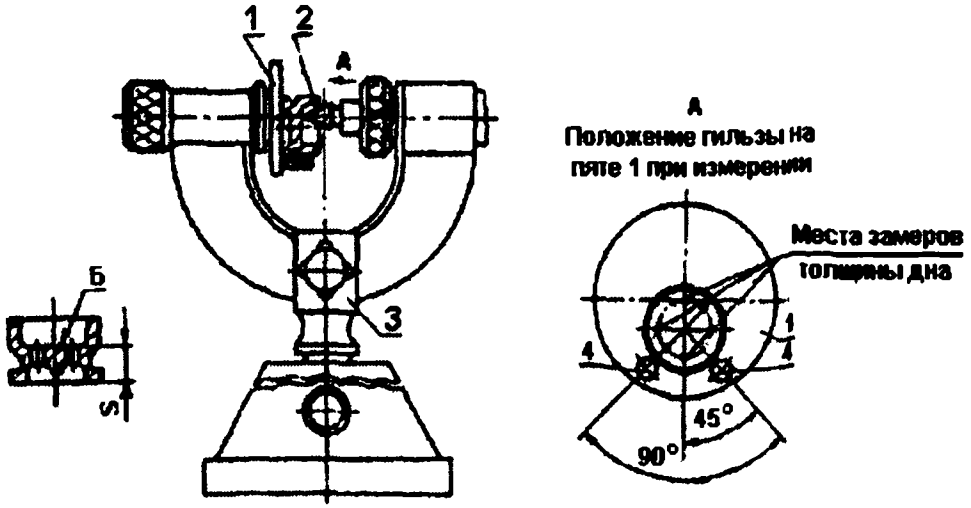


Рис. 10.3. Схема измерения толщины дна гильзы: *1*, *2* – вставки микрометра; *3* – подставка; 4 – штифты

Определение сплошности лакового покрытия. Поверхность гильзы перед испытаниями обезжиривают тампоном, смоченным бензином, а затем – этиловым спиртом. Каждый проверяемый патрон обёртывается в фильтровальную бумагу, увлажнённую реактивом (на 1 л дистиллированной воды – 20 г хлористого натрия; 7,6 г железисто-синеродистого калия) и выдерживается в ней 10 мин. После выдержки патроны развёртывают и подвергают бумагу визуальному контролю. Наличие на ней синих точек, пятен или полос указывает на несплошность лакового покрытия (рис. 10.4).

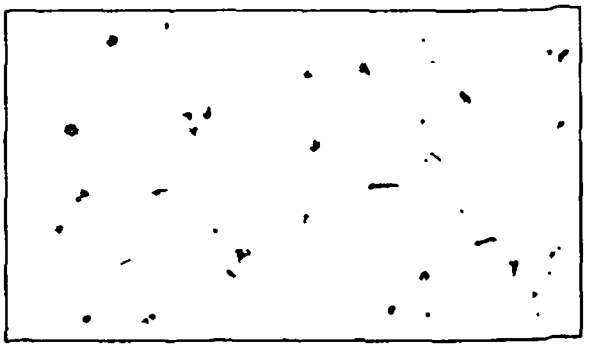


Рис. 10.4. Вид фильтровальной бумаги после контроля сплошности лакового покрытия

Второй способ контроля сплошности лакового покрытия заключается в следующем. Подготовленный патрон опускают в раствор серной кислоты – 0,175%, а затем в раствор 0,5% медного купороса. Выдержка в каждом растворе 0,5 мин., затем патрон осматривают – появление на поверхности гильзы и пули красных точек указывает на несплошность лакового покрытия.

Испытания на герметичность проводят погружением патронов в жидкую оружейную смазку при избыточном давлении, величина которого определена ТУ на каждое изделие. Продолжительность выдержки под давлением 50 мин. Перед испытанием на герметичность патроны предварительно подвергают тряске в течение времени, предусмотренного ТУ.

После выдержки в смазке патроны разряжают и по наличию в заряде и на стенках гильзы оружейной смазки устанавливают степень герметичности патронов.

Испытание на транспортировочную прочность. Контролю подлежат патроны в соответствии с требованиями технической документации. Цель контроля – проверка прочности патронов (надёжность закрепления пули и капсюля-воспламенителя в гильзе) тряской, имитирующей условия транспортировки. Патроны предварительно проверяют по длине выступающей части пули и глубине посадки капсюля-воспламенителя калибром или визуально. Выборку укладывают согласно схеме для каждого вида патронов и подвергают тряске на специальном приборе. Высота падения упаковки 80±2 мм, частота падения 60±1 удар/мин. Через 45 минут положение упаковки меняют на противоположное. После тряски патроны осматривают (нет ли выпадения пули или капсюля), измеряют длину патрона и глубину посадки капсюля-воспламенителя.

Крупнокалиберные патроны после тряски проверяются на герметичность.

Испытания патронов стрельбой на безотказность работы оружия и прочность гильз. Для стрельбы применяется оружие, удовлетворяющее общим требованиям и пригодное для испытания патронов (приложение в ТУ на каждый вид патронов).

Условия испытания:

– настрел ствола и оружия не должен превышать установленную живучесть на данный образец;

– при стрельбе патронами, выдержанными при температуре +50°С и при –50°С, применяется оружие с настрелом на ствол не более 50% от установленной живучести (ресурса ствола);

– стрельба патронами, выдержанными в нормальных условиях, ведётся таким образом: 70% выборки испытываются из ствола с настрелом менее 50% от установленной живучести; 30% выборки – с настрелом более 50% от установленной живучести.

Режим стрельбы для оружия:

– стрельба автоматическим огнём осуществляется сериями по 100 выстрелов (50% выборки патронов очередями по 5...8 выстрелов и 50% выборки – непрерывной очередью, охлаждение – через каждые 100 выстрелов);

– для оружия, имеющего переводчик одиночного и автоматического огня, стрельба ведётся сериями примерно по 30% выборки одиночным огнём, очередями 3...5 выстрелов в очереди и непрерывным огнём. Охлаждение – через 90 выстрелов.

Испытания проводят стрельбой, как правило по щиту через траверсы. При этом фиксируют все виды задержек в оружии и дефекты стреляных гильз, а также срывы пуль с нарезов, их демонтаж, преждевременные разрывы пуль в стволе.

Демонтаж – разрушение пули, не оставляющее кольцевого отпечатка в канале ствола оружия. Обнаруживается характерным пробитием траверс элементами пули.

Преждевременный разрыв пули в канале ствола – разрушение, оставляющее кольцевой отпечаток в канале ствола и вызывающее деформацию пламегасителя (дульного тормоза) или ствольной коробки. Обнаруживается этот дефект пробитием траверс осколками пули и наличием кольцевого отпечатка в стволе.

Срыв пули с нарезов – потеря ею устойчивости на полёте. Обнаруживается наличием в щите и траверсах овальных и боковых пробоин.

Легкоустраняемой считается задержка, которая устраняется без разборки оружия и применения специальных приспособлений (утыкание патрона, прихват гильзы, пропуск патрона и т.д.).

Испытание патронов на безотказность и дальность трассирования. Для проведения испытания применяют оружие, удовлетворяющее требованиям ТУ по начальной скорости. Для каждого

калибра устанавливается свой норматив скорости, а настройка оружия производится образцовыми патронами. Перед стрельбой испытуемые патроны выдерживают при температуре +50°С и –50°С. После температурной обработки патроны подают на стрельбу, режим которой должен обеспечивать нахождение на траектории не более двух пуль. Контроль дальности осуществляют наблюдениями со стороны из блиндажа или другого укрытия. Охлаждение ствола производят через каждые 100 выстрелов.

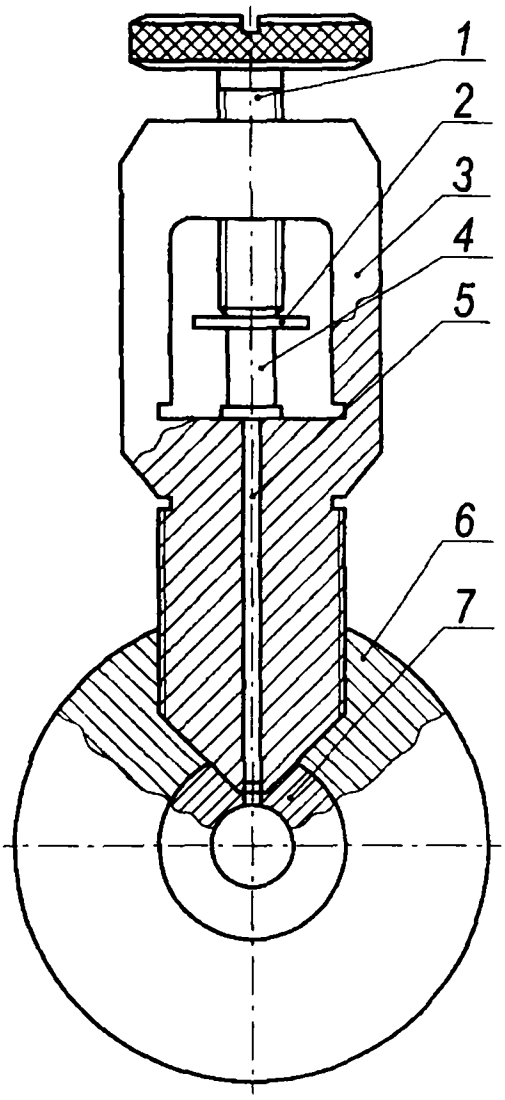


Рис. 10.5. Схема крешерного прибора: *1* – опорный винт; *2* – планка; *3* – корпус; *4* – крешер; *5* – поршень; *6* – хомут; *7* – ствол

Определение максимального давления пороховых газов p_m. Для этого применяют два способа: механический, основанный на принципе измерения остаточных деформаций, и электрический, основанный на пьезоэлектрическом свойстве проводников изменять сопротивление под действием приложенной нагрузки.

При испытании патронов широкое распространение получил механический способ, основанный на измерениях остаточных деформаций медного столбика (крешера). Крешер устанавливают в специальном устройстве, которое ввинчивают в стенку ствола (рис. 10.5). Под действием давления пороховых газов поршень *5* сжимает и пластически деформирует (осаживает) медный цилиндр – крешер *4*. По величине деформации определяют усилие и величину соответствующего ему давления (табл. 10.1).

Крешерные столбики измеряют и укладывают в пронумерованные гнёзда специального пенала, а результаты замеров для каждого столбика записывают в журнал. Для учёта влияния отклонения высоты крешерных столбиков в пределах ±0,03 мм вычисляют величину поправки $\Delta p_в$, которая представляет собой разность между давлением предварительного обжатия и давлением по градуировочной таблице. Величина поправки не должна превышать ± 3,9 МПа.

Таблица 10.1

Определение давления пороховых газов крешерным способом

Размеры (диаметр× высота), мм	Площадь сечения поршня, $F_к$, мм^2	Пределы тарирования		Шаг тарирования, ΔQ, Н	Допускаемое отклонение высоты после обжима, мм
		Q, Н	p_m, МПа		
3×4,9	20	800 – 4400	40 – 22	200(400)	±0,03
4×6,5	20	2000 – 7800	100 – 390	500(400)	±0,03
5×8,1	20(50)	3000 – 11000	150 – 550	1000(400)	±0,04
6×9,8	50	7000 – 18000	140 – 360	1000	±0,05
8×13	50	20000 – 30000	400 – 600	1000	±0,06
8×13	100	12000 – 38000	120 – 380	2000	±0,06
10×15	100	30000 – 40000	300 – 400	2000	±0,06

Максимальное давление пороховых газов для патронов испытываемой партии определяют стрельбой (десять выстрелов) параллельно с патронами образцовой партии (через выстрел), охлаждение ствола – через пять выстрелов для патронов калибра 12,7 мм и 14,5 мм и через 10 выстрелов для патронов калибра 5,45 мм – 7,62 мм. По высоте крешерного столбика после выстрела с помощью градуировочной таблицы с учётом поправки $\Delta p_в$ на погрешность высоты столбика находят p_m. Для каждой группы определяют среднее значение (из десяти) и находят $p_{m\ нб}$, $p_{m.\ нм.}$ Далее $p_{m\ ср}$ приводят к нормальным условиям:

$$p_{mн}=p_m\pm\Delta p_t\pm\Delta p_б, \qquad (10.1)$$

где p_m – среднее, наибольшее, наименьшее значение (с учётом поправки на высоту столбика); Δp_t – поправка на температуру порохового заряда, МПа; $\Delta p_б$ – поправка на баллистическую характеристику оружия, МПа;

$$\Delta p_t = m_t \cdot p_m \cdot \Delta t,$$

m_t – поправочный коэффициент; p_m – среднее давление; Δt – отклонение действительной температуры от нормальной (20°С); $p_б$ – поправка на баллистическую характеристику оружия.

При этом если температура заряда выше нормальной, то поправка Δt берётся со знаком минус, если ниже – со знаком плюс.

Поправка на баллистическую характеристику оружия $p_б$ представляет собой разность между максимальным средним давлением, установленным для образцовых патронов, и реальным давлением, полученным при стрельбе этими патронами из данного образца оружия. Если давление больше установленного, то поправка $p_б$ берётся со знаком минус, если меньше – со знаком плюс.

Определение скорости пуль основано на измерении времени их полёта по строго установленному участку траектории. Скорость пуль определяют одним из следующих методов: соленоидным, фотодиодным, контактным.

Наиболее распространён соленоидный метод (рис. 10.6).

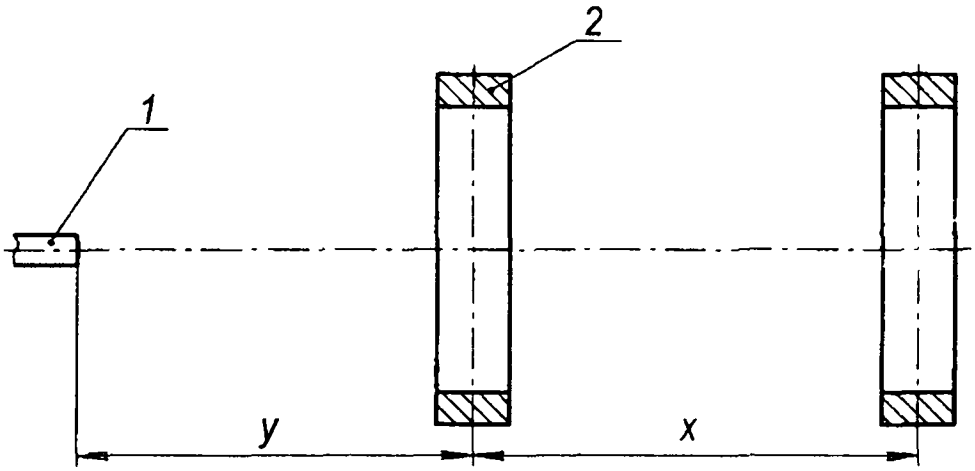


Рис. 10.6. Схема размещения соленоидов: *1* – ствол: *2* – соленоиды

Он может быть применён при баллистических испытаниях патронов, пули которых обладают ферромагнитными свойствами. Измерительный комплекс включает в себя электронный хронометр "Нептун" или частотомер, приставку, соленоидные датчики, щелочные аккумуляторы с силой тока 3А, баллистическую линию (кабель РД-75-11 по ОСТ 160.505.019), а также оружие и станок для его крепления. Оружие закрепляют на станке так, что-

бы дульный срез совпал с нулевой отметкой баллистической трассы. Соединительный кабель с одной стороны подсоединяют к разъёму "Выход" приставки, с другой – к разъёму "Вход" прибора формирования. "Выход" прибора формирования соединяют с гнездом "→В" блока измерения интервалов времени частотомера. Прибор формирования подключают к источнику питания постоянного тока с напряжением 12,6±0,5 В, соблюдая полярность. При этом на лицевой панели частотомера органы управления устанавливают в следующие положения:

род работы – ТВ;

метка времени – 0,1 мкс;

переключатель уровня запуска входа "В" – 1:3;

множитель периода – 1;

ручка главной регулировки уровня запуска входа "В" – среднее между "0" и "+1В".

Запуск системы осуществляют нажатием кнопки "Пуск" на лицевой панели частотомера, при этом на его декатронном табло должны гореть только нули.

Расстояние между соленоидами x=4 для всех видов патронов.

Для патронов калибра 5,45 мм, 7,62 мм, 9 мм y=3,0 м (определяется V_5); калибра 12,7 мм и 14,5 мм y=8,0 м (определяется V_{10}).

Стрельбу производят испытуемыми патронами из баллистического оружия параллельно со стрельбой патронами образцовой партии по одной группе из 10 выстрелов.

Скорость пули определяют по формуле

$$V_x = \frac{X}{\tau}, \qquad (10.2)$$

где X – длина базы блокирования; τ – время полёта пули, измеренное хронометром (ОСТ В3-5177-81).

По полученным значениям скоростей пуль баллистической группы патронов определяют $V_{x.ср}$, как среднее арифметическое из 10 выстрелов, а также наибольшее значение скорости $V_{x\ нб}$, наименьшее $V_{x\ нм}$ и разность между ними ΔV_x, а также срединное отклонение r_V.

Срединные отклонения рассчитывают по формуле

$$r_V = 0{,}6745\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}\left(V_{xi} - V_{x.\text{ср}}\right)^2}{n-1}}, \qquad (10.3)$$

где V_{xi} – значение скорости без учёта поправок на метеоусловия, температуру и баллистическую характеристику оружия;

$$V_{x.\text{ср}} = \sum_{i=1}^{n}\frac{V_{xi}}{n}, \qquad \text{где } i=1,2,3\ldots n \text{ – число испытаний.}$$

Среднее наибольшее и наименьшее значения скорости приводят к нормальным условиям $V'_{x\,\text{ср}}$, $V'_{x\,\text{нб}}$, $V'_{x\,\text{нм}}$:

$$V'_{x\,\text{ср}} = V_{x\,\text{ср}} \pm \Delta V_t \pm \Delta V_{\text{му}} \pm \Delta V_{\text{б}};$$
$$V'_{x\,\text{нб}} = V_{x\,\text{нб}} \pm \Delta V_t \pm \Delta V_{\text{му}} \pm \Delta V_{\text{б}};$$
$$V'_{x\,\text{нм}} = V_{x\,\text{нм}} \pm \Delta V_t \pm \Delta V_{\text{му}} \pm \Delta V_{\text{б}},$$

где $V_{x\,\text{ср}}$, $V_{x\,\text{нб}}$, $V_{x\,\text{нм}}$ – среднее, наибольшее и наименьшее значения скорости пуль по результатам стрельбы; ΔV_t – поправка скорости пуль на температуру порохового заряда; $\Delta V_{\text{му}}$ – поправка скорости пуль по метеорологическим условиям; $\Delta V_{\text{б}}$ – поправка скорости пуль на баллистическую характеристику оружия;

$$\Delta V_t = L_t \cdot V_x \cdot \Delta t, \qquad (10.4)$$

где L_t – поправочный коэффициент Слухоцкого, который находят по табл.10.2; Δt – отклонение действительной температуры от 20°С; V_x – соответствующее значение средней $V_{x\,\text{ср}}$, наибольшей $V_{x\,\text{нб}}$, или наименьшей $V_{x\,\text{нм}}$ скорости.

Таблица 10.2

Значения поправочного коэффициента Слухоцкого

Наименование патрона	L_t 1/°С
5,45-мм пистолетные МПЦ	0,0004
7,62-мм и 9-мм пистолетные	0,0014
7,62-мм револьверные	0,0011
5,45-мм с пулей УС	0,00037
5,45-мм, 7,62-мм образца 1943 г. и с пулей УС	
7,62-мм винтовочные	0,0012
12,7-мм	0,0013
14,5-мм	0,0009

При этом если действительная температура меньше 20°С, то поправка со знаком плюс, если больше 20°С – минус:

$$\Delta V_{\text{му}} = \Delta V_{\text{д}}\left(\frac{0{,}288h_0 - 3}{273 + t_0} - 1\right), \qquad (10.5)$$

где h_0 – действительное атмосферное давление, МПа; t_0 – действительная температура воздуха.

Значения поправок скорости по метеоусловиям $\Delta V_{\text{му}}$ см. в табл. прил. 10 ОСТ В3-5177. Входными параметрами здесь являются действительные значения давления и температуры воздуха окружающей среды. ΔV_6 – разность между скоростью, установленной для образцовых патронов, и скоростью пуль, полученной при стрельбе. Поправка не должна превышать для патронов калибра 12,7 и 14,5 мм ±16 м/с, для патронов калибра 5,45, 7,62, 9 мм ±12 м/с.

В справочных изданиях по патронам к стрелковому оружию указывается начальная скорость пули не фактически замеренная на определённом расстоянии, а приведённая к скорости у дульного среза ствола $V_0(V_{\text{д}})$.

Скорость $V_0(V_{\text{д}})$ определяют по формуле

$$V_0 = V_x + \Delta V_{\text{д}}, \quad \Delta V_{\text{д}} = \frac{10 \cdot CX_1}{\Delta D(V_x)},$$

где V_x – скорость пуль, замеренная на расстоянии, указанном в конструкторской документации, м/с; C – баллистический коэффициент, м^2/кг; X_1 – расстояние от дульного среза оружия до середины базы блокирования, м; $\Delta D(V_x)$ – приращение функции Сиаччи, расчитанное по закону сопротивления воздуха 1943 г., м^2/кгс (табл. 10.3).

Таблица 10.3

Значения приращения функции Сиаччи $\Delta D(V_x)$

Скорость пули, м/с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	1278	1167	1074	994	925	865	812	766	726	690
200	657	626	597	570	546	524	504	481	453	421
300	383	327	250	206	181	166	157	149	143	139
400	136	132	130	127	125	123	121	120	118	117
500	115	114	113	111	110	109	108	107	106	105
600	104	103	103	102	101	100	99	98	98	97
700	96	95	95	94	93	92	92	91	90	90
800	89	89	88	87	86	86	85	85	84	84
900	83	82	82	81	81	80	80	79	79	78
100	77	77	76	76	75	75	74	74	73	73
1100	72	72	71	70	70	69	69	68	68	67

Продолжение табл. 10.3

Скорость пули, м/с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1200	67	67	66	66	65	64	64	63	63	63
1300	62	62	61	61	60	60	59	59	59	58
1400	58	57	57	57	56	56	56	55	55	54
1500	54	54	53	53	53	52	52	52	51	51
1600	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48
1700	48	47	47	47	47	46	46	46	45	45
1800	45	45	44	44	44	44	44	43	43	43
1900	43	42	42	42	42	42	42	41	41	41
2000	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40

Определение запреградного зажигательного действия пуль. Испытанию на зажигательное действие подвергают патроны, имеющие пули с зажигательным составом. Преграду выбирают в зависимости от назначения пули. Испытываемые патроны выдерживают при температуре 20±5°С не менее двух часов. Оружие устанавливают на станке и подготавливают к стрельбе в соответствии с наставлением по стрелковому делу на используемый образец. Преграду, подлежащую пробитию, закрепляют на специальной установке перпендикулярно горизонту и плоскости стрельбы. В качестве ёмкости для воспламеняемой жидкости используют металлические коробки для упаковки патронов стрелкового оружия. Вид воспламеняемой жидкости указывается в чертеже на патрон. Испытания могут проводиться при любых естественных метеорологических условиях, но при отсутствии атмосферных осадков. При наличии навеса над стационарной установкой испытания можно проводить и во время атмосферных осадков.

Перед каждым выстрелом за преградой на подставке устанавливают коробку с воспламеняемой жидкостью окном в сторону преграды и параллельно ей (рис. 10.7). Горючая жидкость должна быть налита до уровня не ниже 10 мм от среза крышки коробки. После каждого выстрела с попаданием в преграду, независимо от того, было зажжение или нет, производится осмотр преграды и коробки.

Попадание считается зачётным при одновременном удовлетворении следующим условиям:

– в преграде получено сквозное отверстие;

– расстояние между краями пробоины и кромкой преграды не менее калибра пули;

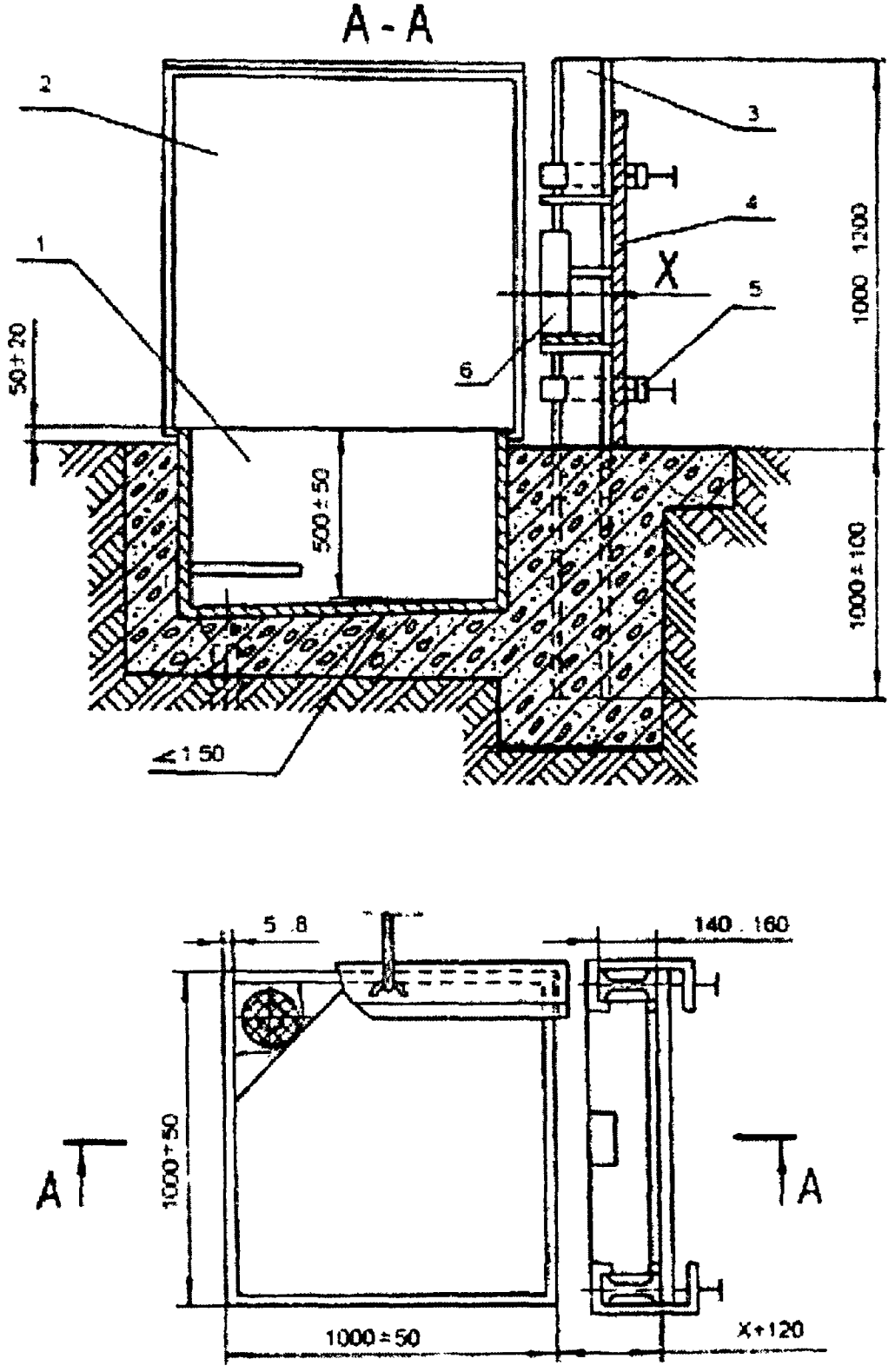


Рис. 10.7. Схема установки для определения зажигательного действия пуль: *1* – бак для сбора зажигательной жидкости; *2* – крышка бака; *3* – стойка для крепления преграды; *4* – преграда; *5* – струбцина; *6* – коробка с зажигаемой жидкостью

– в коробке имеется пробоина от пули, сердечника или их частей и расстояние от края окна в крышке до края пробоины в ней не менее 10 мм.

Испытания патронов стрельбой на зажжение бумаги, смоченной воспламеняющейся жидкостью, проводят аналогично вышеописанному. Перед каждым выстрелом скомканную бумагу смачивают жидким топливом (бензин, керосин, солярка). После каждого выстрела осматривают преграду, щиток и бумагу (рис. 10.8).

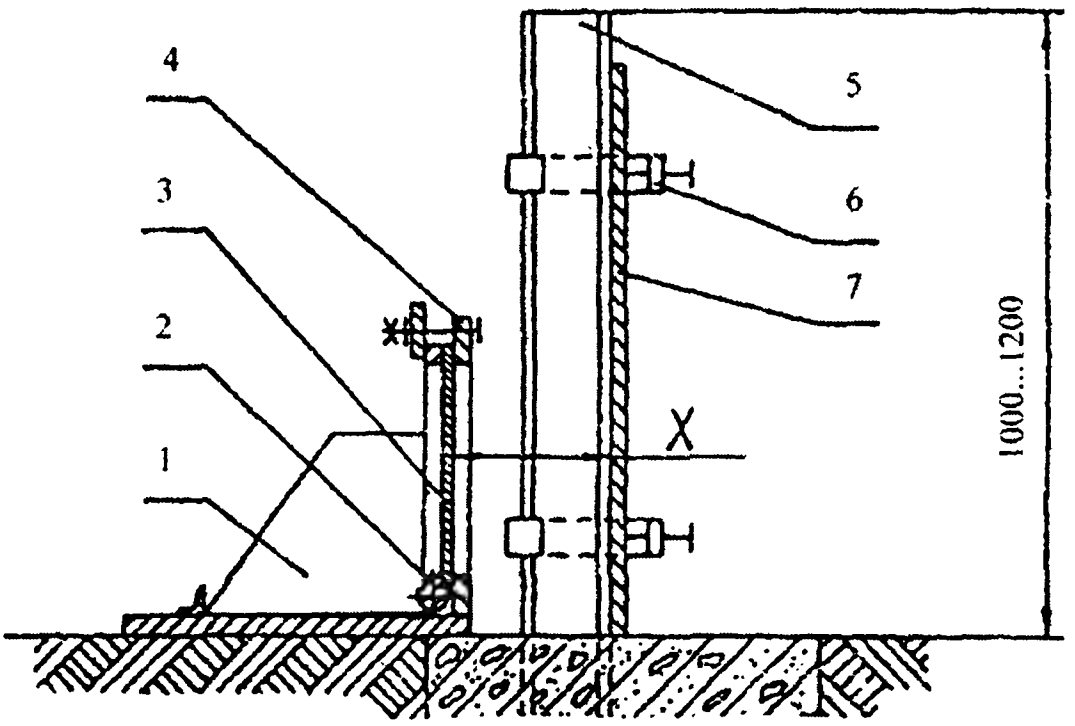


Рис. 10.8. Схема установки для определения зажигательного действия пуль по смоченной воспламеняющейся жидкостью бумаге: *1* – приспособление для крепления бумаги; *2* – откидная рамка приспособления; *3* – щиток с бумагой; *4* – стойка; *5* – стойка для крепления преграды; *6* – струбцина; *7* – преграда

При испытании на зажигаемость по банкам или бумаге производят 10 зачётных выстрелов. Критерием результатов испытания является процент случаев зажжения по отношению к числу зачётных пробоин. Он указывается в чертежах на испытываемые патроны. Толщина преграды должна соответствовать требованиям чертежа на испытываемый патрон. Типы преград и их размеры указаны в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Характеристики преград при испытании патронов на зажигательное действие

Испытываемые патроны	Тип преграды	Размеры преграды $h \times b$, мм
7,62-мм винтовочные патроны с бронебойно-зажигательной пулей Б-32	Бронеплита по ТУ ГАУ № 04766-56	1000×1000
7,62-мм винтовочные патроны с пристрелочно-зажигательной пулей ПЗ	Лист из стали по ГОСТ 16523-70	400+500×1000
12,7-мм патроны с бронебойно-зажигательной пулей Б-32 и с бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей БЗТ-44	Бронеплита по ТУ ГАУ №04766-56	1000×1000
12,7-мм патроны с бронебойно-зажигательной пулей БС	Бронеплита по ТУ ГАУ №04766-56	1000×1000
12,7-мм патроны с зажигательной пулей мгновенного действия МДЗ	Лист из алюминиевого сплава марки Д16АМ по ГОСТ21631-76	1000×1000
14,5-мм патроны с бронебойно-зажигательной пулей Б-32 и с бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей БЗТ	Бронеплита по ТУ ГАУ №04766-56	1000×1000
14,5-мм патроны с зажигательной пулей мгновенного действия МДЗ	Лист из алюминиевого сплава марки Д16АМ или Д1АМ по ГОСТ21631-76	600×600

Определение бронепробивного действия пуль. Стрельба производится из оружия, указанного в ТУ, до 10 зачётных выстрелов. Критерием результатов испытаний является процент пробития преграды от числа зачётных выстрелов. Предварительно в день испытания определяются скорость $V_{25.ср}$ при стрельбе из оружия патронами, предназначенными для испытаний и выдержанными при t=20±5°С не менее 2 часов. Стрельба ведётся без параллельного использования образцовых патронов. Оружие считается пригодным, если полученные значения скорости пуль не менее указанных в табл. 10.5.

Таблица 10.5

Требования по скорости пуль при испытании патронов на бронепробивное действие

Испытываемые патроны	Оружие	Требования по скорости пуль
7,62-мм винтовочные патроны с пулей Б-32	7,62-мм пулемёт Калашникова танковый ПКТ	Требования в технической документации отсутствуют
12,7-мм патроны с пулями Б-32 и БЗТ	12,7-мм пулемёт НСВ-12.7	То же
	12,7-мм пулемёт образца 1938/46г г.	>>
12,7-мм патроны с пулей БС	12,7-мм пулемёт НСВ-12,7	$V_{25.ср} \geq 810$ м/с
	12,7-мм баллистическая винтовка У-135	$V_{25\,ср} \geq 650 \pm 7{,}5$ м/с
14,5-мм патроны с пулей Б-32	14,4-мм пулемёт КПВТ	$V_{25.ср} \geq 970$ м/с
14,5-мм патроны с пулей БЗТ	14,5-мм пулемёт КПВТ	$V_{25.ср} \geq 985$ м/с

При отсутствии требований по скорости $V_{25.ср}$ оружие считается годным, если отклонение скорости не превышает 2,5% для калибра до 9 мм и 5% для калибров более 9 мм по сравнению с табличной скоростью (табл. 10.6).

Таблица 10.6

Значения номинальной скорости пуль (по чертежу на патрон)

Испытываемые патроны	Оружие	Скорость пуль $V_{25\,ср}$, м/с
7,62-мм винтовочные патроны с пулей Б-32	7.62-мм пулемёт Калашникова танковый ПКТ	815
12,7-мм патроны с пулями Б-32 и БЗТ	12,7-мм пулемёт НСВ-12,7	830
	12,7-мм пулемёт образца 1938/46 гг.	810

Стрельба производится по стальной плите, указанной в ТУ на патрон. Плита устанавливается на соответствующем расстоянии от дульного среза и под углом, указанными в чертеже патрона.

Испытания проводят одиночным огнём при любых естественных метеорологических условиях. Попадание считается зачётным при условии:

– если расстояние между краями пробоин или между краем пробоины и кромкой плиты не менее калибра пули;

– если с тыльной стороны под местом попадания отсутствует опорная деталь;

– если пуля не попала в крепёжные детали;

– если в преграде отсутствуют сквозные трещины и с тыльной стороны отсутствуют сколы размером, превышающим 5 калибров пули.

Пробитием считают только сквозное отверстие.

Испытание патронов на кучность стрельбы. Испытание является общим для всех видов патронов и производится стрельбой из оружия, установленного на специальном станке, имеющем бетонный фундамент. Откат подвижных частей станка должен быть плавным. Из закреплённого на станке оружия производят 3-5 осадочных выстрелов, которые являются также и пристрелочными. Испытание на кучность производят через траверсы по щиту. Расстояние от дульного среза до щита определяется чертежом на патрон. Режимы стрельбы: клб. 5,45 мм; 7,62 мм – 3 серии по 20 выстрелов; клб. 12,7 мм и 14,5 мм – 2 серии по 10 выстрелов. Скорострельность: для 5,45-мм и 7,62-мм патронов – 6-7 в/мин; для 12,7-мм и 14,5-мм патронов – 2 в/мин.

Для каждой серии выстрелов определяются средняя точка попадания, радиус лучшей половины рассеивания r_{50} и радиус R_{100}. Средняя точка попадания (СТП) определяется как точка пересечения двух взаимно перпендикулярных линий, которые проводят так, чтобы число пробоин с каждой стороны от них было одинаковым. Также одинаковым должно быть расстояние до ближайших двух пробоин, расположенных с обеих сторон. Большой радиус рассеивания R_{100} определяется как радиус круга, вмещающий 100% пробоин. Он равен расстоянию от СТП до центра наиболее удалённой пробоины. Малый радиус r_{50} – основная характеристика рассеивания – определяется как радиус круга с центром в СТП, вмещающий 50% пробоин. Практически это радиус с центром в СТП и концом в середине отрезка, проведён-

ного через центры граничащих пробоин: пятой и шестой (при 10 пробоинах), десятой и одиннадцатой (при 20 пробоинах).

По окончании стрельбы всех серий патронов определяют среднее r_{50} как среднее арифметическое из радиусов каждой серии. Средний радиус рассеивания r_{50} не должен превышать значения, установленного чертежом.

Периодические испытания. Испытания проводятся с целью:

– периодического контроля качества партии патронов;

– контроля стабильности технологического процесса;

– подтверждения возможности продолжать изготовление и приёмку изделий по действующей конструкторской и технологической документации.

Испытания осуществляет предприятие-изготовитель с участием заказчика или организация заказчика в объёме, периодичности и последовательности, установленными ТУ или указанными в договорах на поставку продукции. Если партия выдержала испытания, то качество изделий контролируемого периода считается подтверждённым, если не выдержала, то приёмку и отгрузку принятых изделий приостанавливают до выявления причин возникновения дефекта. Испытания оформляют отчётом (актом). Повторные испытания проводят в полном объёме периодических испытаний на доработанных или вновь изготовленных партиях патронов после устранения дефектов. При этом должен быть представлен отчёт, протокол испытаний, подтверждающие устранение дефектов и принятие мер по их предупреждению. Результаты повторных испытаний оформляют отчётом (актом).

Типовые испытания. Испытания проводят с целью оценить эффективность и целесообразность предлагаемых изменений в изделии или в технологии его изготовления. Необходимость проведения типовых испытаний определяют совместным решением предприятие-разработчик, предприятие-изготовитель и представитель заказчика. Испытания проводят предприятие-изготовитель или организация заказчика по программе, которая должна содержать:

– необходимые испытания из состава приёмо-сдаточных;

– требования по количеству изделий, необходимых для проведения испытаний;

– указания об использовании изделий после испытаний;
– необходимые сравнительные испытания.

Программу разрабатывает предприятие-изготовитель с утверждением организацией, ответственной за вносимые изменения, конструкторской и технологической документации на изделие. Результаты испытаний оформляются отчётом (актом), который утверждают главный инженер завода-изготовителя и руководитель представительства заказчика.

Квалификационные испытания патронов первой установочной серийной партии новых изделий проводят с целью подтвердить соответствие изделий требованиям КД, оценить проведённые мероприятия по устранению недостатков, выявленных на Государственных испытаниях, проверить технологические процессы изготовления патронов, а также определить готовность производства к выпуску в заданном объёме.

Виды испытаний и методы их проведения должны соответствовать ТУ на патроны и технической документации.

Объём испытаний определяется программой, но должен быть не менее, чем при проведении периодических испытаний.

Квалификационные испытания организует и обеспечивает их проведение головное предприятие-изготовитель, а проводит комиссия, назначенная решением, утверждённым головным предприятием-изготовителем.

По результатам испытаний составляется акт квалификационных испытаний, который утверждается решением заказчика и головного предприятия-изготовителя.

10.2. Организация испытаний патронов к стрелковому оружию

Приёмо-сдаточные испытания патронов производят силами контрольно-испытательной станции (КИС) и подразделениями центральной лаборатории.

В состав КИС входят следующие подразделения:

– баллистическая лаборатория, которая производит подбор массы заряда, входной контроль пороха, определение баллистических характеристик патронов, осуществляет контроль техноло-

гического процесса выдержки порохов и соблюдения режимов снаряжения;

– участок визуального контроля и контроля геометрических размеров патронов, массы заряда, внешнего вида составных частей патрона после разрядки;

– участок, осуществляющий испытания партий патронов стрельбой (испытания проводит бригада стрелков-испытателей);

– склады хранения оружия и боеприпасов, подчиняющиеся непосредственно начальнику КИС.

Для проведения испытаний КИС обязана иметь стрелковые кабины, необходимые материалы, вспомогательные помещения.

Вспомогательные помещения предназначены для хранения оружия, патронов, горюче-смазочных материалов для разборки, чистки, смазки оружия, для снаряжения лент и магазинов, для хранения стреляных гильз. К вспомогательным помещениям относятся также диспетчерский пульт и сантехнический узел.

Контрольно-испытательная станция должна быть полностью обеспечена конструкторской документацией на патроны и оружие.

В передней стенке стрелковой кабины обязательно наличие амбразуры, облицованной стальными листами, а её дверцы должны быть легкопробиваемыми. В кабине для стрельбы из крупнокалиберного оружия должен быть установлен специальный станок для установки оружия, прочно закреплённый на бетонном фундаменте глубиной не менее 1,5 м. Стрелковая кабина оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией, телефоном и электрическим освещением. Ширина двери в кабину 1,25 м, с внутренней стороны двери имеются затворки из стальных листов.

Помещение для хранения оружия оборудуют таким образом, чтобы исключить возможность его хищения. Особое требование предъявляется к помещению для хранения патронов: электрооборудование взрывобезопасно, включатели размещают снаружи помещения, на стенах вывешивают таблички с нормами хранения и регламентом производства работ. Все помещения обеспечивают средствами пожаротушения.

Полы в местах снаряжения лент и магазинов покрывают резиной. На окнах не должно быть решеток.

Пулеприёмник должен обеспечивать улавливание пуль и их осколков, для чего оборудуется козырьками и боковыми стенами.

Вся территория полигона КИС огораживается изгородью из колючей проволоки. По периметру вывешиваются аншлаги "Запретная зона, опасно для жизни". Расстояние от крайних плоскостей стрельбы до ограждения должно быть не менее 1 км. По линии стрелковых точек устраивается ограждение, допускающее выход на трассу только в определённых местах. Блиндажи оборудуются телефонной связью с диспетчером и стрелковыми кабинами.

Правила безопасности при испытаниях стрельбой. При испытаниях оружия и патронов стрельбой могут возникать следующие опасные и вредные для испытателя воздействия:

- поражение пулями или осколками от пуль и преград;
- нанесение травм в случае разрушения оружия или срабатывания патрона вне патронника;
- получение ожогов от повышения температуры деталей оружия и стреляных гильз в процессе и после стрельбы;
- повышенная утомляемость при превышении предельно допустимой энергии отдачи оружия в процессе стрельбы с опорой в плечо стрелка;
- повышенное содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны: окиси углерода (содержащейся в пороховых газах), паров керосина (при чистке оружия), вредных веществ, применяемых при расконсервации оружия (в зависимости от варианта защиты и способа расконсервации);
- повышенный уровень статического электричества, образующегося на одежде и теле человека, который может вызвать срабатывание патрона с электрокапсюлем.

Испытания оружия и патронов стрельбой проводят на испытательных станциях, где стрельбу производят из стрелковых кабин или с отдельных открытых стрелковых точек.

На каждом рабочем месте должна быть инструкция по безопасному ведению работ, в которой содержатся общие положения и требования: перед началом работы, во время работы, при аварийной ситуации, по окончании работ. Инструкции утверждаются и согласовываются в установленном порядке.

Образцы оружия и патронов, предъявленные на испытаниях, должны быть проверены на соответствие конструкторской документации и приняты ОТК и представителем заказчика. Серийные образцы оружия, используемые при типовых, периодических и приёмо-сдаточных испытаниях, должны удовлетворять требованиям технических условий на испытываемые патроны.

Серийные патроны, используемые при испытаниях оружия и патронов, должны иметь документ, подтверждающий соответствие их конструкторской документации.

При испытаниях стрельбой недопустимо:

– разрушение образца оружия (за исключением разрушения при специальных проверках безопасности оружия);

– срыв подвижных частей или курка с шептала, выключение предохранителя или перезаряжание оружия (при выключенном предохранителе) при падениях и при обращении с оружием без нажатия на спусковой крючок (требование о недопустимости перезаряжания при включенном предохранителе не относится к охотничьему оружию с откидывающимися стволами);

– срыв курка с шептала при перезаряжании и закрывании стволов (для спортивного и охотничьего оружия);

– выстрел от инерционного накола капсюля-воспламенителя патрона при перезаряжаниях, при стрельбе, при падениях заряженного оружия;

– задержка, дефекты или поломка деталей оружия, опасных для стреляющих и присутствующих лиц;

– самопроизвольная автоматическая стрельба при прекращении нажатия на спусковой крючок (рычаг, кнопку пульта управления стрельбой);

– образование царапины от бойка на дне гильзы при закрывании канала ствола (для охотничьего оружия);

– ощущение заложенности, шума и звона в ушах при стрельбе и после неё даже при использовании средств защиты, т.е., когда предельно допустимый уровень звукового давления превышает эффективность средств защиты;

– невыполнение требований, перечисленных в справке о безопасности образца оружия.

При получении хотя бы одного из указанных дефектов испы-

тания должны быть прекращены до выяснения и устранения причин.

В случае обнаружения в процессе испытаний патронов с такими дефектами, как качка пули в дульце гильзы, трещины на гильзе и капсюле-воспламенителе, выступание капсюля-воспламенителя выше поверхности фланца, помятость гильзы или пули выше допустимых пределов, ржавчина на гильзе и капсюле-воспламенителе, эти патроны должны быть уничтожены в установленном порядке.

Если патроны покрыты грязью, запылились, имеют налёт коррозии (если это не связано с условием испытаний), их необходимо обтереть сухой чистой ветошью.

Указанные требования не относятся к приёмо-сдаточным испытаниям патронов, когда оценка таких дефектов и действия при их обнаружении оговорены техническими условиями на патроны.

На испытаниях стрельбой не должно быть посторонних лиц.

Требования к безопасности при подготовке к стрельбе. Перед разборкой оружия оно проверяется на отсутствие патрона в патроннике, в экстракторах затвора, в приёмнике, а также на наличие каких-либо предметов в канале ствола. Смазка из канала ствола должна быть удалена. Оружие и патроны размещаются отдельно друг от друга на различных рабочих местах (столах, верстаках). Чистка деталей оружия вредными веществами в закрытых помещениях производится на рабочих местах, оборудованных местной вытяжной вентиляцией.

Отладка оружия и подгонка его деталей при подготовке к стрельбе, а также выяснение причин задержки выстрела производится с применением только учебных или охолощенных патронов.

Снаряжение лент, магазинов и обойм патронами осуществляют в отдельном снаряжательном помещении или на специально отведённом месте в подготовленной комнате, в кабине или на позиции стрельбы с выполнением следующих требований:

– крышки ящиков, металлические коробки и другая упаковка должна открываться предназначенным для этого инструментом. Запрещается открывать ящики с патронами ударами об пол или грунт;

– при ручном снаряжении лент или для выравнивания патронов в ленте, снаряжённой с помощью машинки, запрещается использовать предметы, которые могут наколоть капсюль-воспламенитель патрона или деформировать патрон;

– при снаряжении лент, магазинов, обойм патроны не должны подвергаться воздействию прямых солнечных лучей.

Коробки или пакеты, из которых производится снаряжение, после извлечения из них патронов проверяют визуально или средствами металлообнаружения на отсутствие в них патронов.

В снаряжательном помещении во время снаряжения лент, магазинов, обойм или при наличии в нём патронов запрещается проведение других работ.

При приёме стрелковой точки необходимо проверить:

– исправность сигнализации и телефонной связи (переговорного устройства);

– исправность освещения;

– исправность вентиляционной системы;

– исправность необходимых для испытаний коммуникаций;

– надёжность закрепления стенда на бетонном фундаменте.

Требования безопасности при испытаниях стрельбой. При испытаниях стрельбой стрелковые кабины обязательно оборудуют световой сигнализацией (две красные, две зелёные лампочки), звуковой сигнализацией (ревун) и телефонной связью.

Красная лампочка горит на протяжении всего испытания. Красный световой сигнал означает разрешение стрельбы и проведение всех работ, связанных с заряжанием и отладкой оружия, с применением патронов всех видов и запрещение выхода на стрелковую трассу. По окончании серии испытаний или всего испытания красная лампочка гаснет и загорается зелёная. Зелёный световой сигнал означает запрещение стрельбы и всех работ, связанных с заряжанием и отладкой оружия, и разрешение выхода на стрелковую трассу.

Телефонная связь связывает стрелковую кабину с пультом управления и служит для переговоров и передачи команд между ответственным стрелком-испытателем и оператором. При отсутствии диспетчерского пункта работу стрелковых точек должен координировать мастер испытательной станции.

Перед заряжанием оружия необходимо убедиться в наличии разрешающего стрельбу сигнала, в отсутствии на стрелковой трассе людей или каких-либо предметов на пути полёта пули, проверить чистоту канала ствола и затем произвести холостое перезаряжание со спуском подвижных частей или курка с шептала.

При измерении максимального давления пороховых газов крешерным методом заряжание баллистического оружия до установки крешерного прибора запрещается.

Запрещается заряжание или перезаряжание оружия вручную при одновременном нажатии на спусковой крючок.

Все стрельбы из крупнокалиберного оружия, установленного на стенде, патронами, выдержанными при температуре 70°С и выше, а также патронами высокого давления и с усиленным зарядом производят дистанционно.

Все стрельбы из автоматического оружия рекомендуется производить с использованием гильзоуловителей, обеспечивающих сбор всех гильз и предотвращающих попадание стреляных гильз в стрелка и других испытателей. В открытых и закрытых тирах все стрельбы должны производиться в пулеприёмник.

В процессе испытаний оружие, независимо от того, заряжено оно или разряжено, не должно направляться в сторону людей. При изготовке перед стрельбой из пистолетов (положение "стоя" и "с колена") стреляющий обязан удерживать заряженный пистолет дульной частью ствола вверх. При возникновении трудно устранимой задержки разряжание оружия должно осуществляться непосредственно в стрелковой кабине. При получении осечки разряжание оружия калибра 9 мм и менее должно производиться не ранее чем через 30 с, остального оружия – не ранее чем через 3 мин., а при наличии опасности самовоспламенения патрона в нагретом стрельбой стволе или гильзоотводе для оружия всех калибров – не ранее чем через 20 мин.

Выход людей на стрелковую трассу может быть разрешён только после разряжания оружия с обязательными перезаряжаниями и спусками подвижных частей или курка с шептала (а при возможности – после извлечения или открытия затвора, отделения ствола или удаления оружия со стрелковой точки) и появления разрешающего сигнала. При нахождении людей на стрелко-

вой трассе проведение всех работ с оружием запрещается. Могут быть допущены такие работы, как проверка и исправление наводки оружия, проверка закрепления оружия, приспособления, установки, охлаждение оружия и ствола и т.д.

При некоторых испытаниях (на кучность стрельбы, на бронепробивное действие и т.п.) наблюдатели во время стрельбы могут находиться на стрелковой трассе, при этом они должны быть укрыты в нишах, блиндажах или за бронещитами. Расстояние от плоскости стрельбы до мест укрытия наблюдателей должно быть не менее 50 м. Если наблюдатели расположены в блиндажах, то допускается уменьшение этого расстояния до 20 м.

При испытании на зажигательное и разрывное действия пуль около мишенной установки располагают противопожарные средства и инвентарь (песок, сыпучая земля, лопаты).

При испытании патронов высокого давления и с усиленным зарядом гильзы перед стрельбой смазывают (во избежание тугой экстракции). Если патроны не были использованы в течение 30 мин., то дальнейшее их применение категорически запрещается (во избежание затяжного выстрела).

По окончании стрельбы оружие разряжают (если магазин, лента или обойма израсходованы не полностью), производят два холостых перезаряжания со спуском подвижных частей или курка с шептала и после проверки отсутствия патрона в патроннике или в механизме подачи снимают со стенда (приспособления, стояка) и удаляют со стрелковой точки. Оружие и оставшиеся патроны и гильзы должны быть сданы на склад в установленном порядке.

При уничтожении патронов, пришедших в негодность, должны выполняться следующие требования безопасности:

– уничтожение должно проводиться специально обученными людьми;

– патроны с пулями, содержащими взрывчатые вещества, уничтожают подрывом или сжиганием в бронепечах;

– патроны с пулями, не содержащие взрывчатых веществ, уничтожают путём разрядки и последующего сжигания пороха и выжигания капсюля-воспламенителя в бронепечах. Патроны калибра 9 мм и менее допускается сжигать без разрядки;

– несработавшие пули, имеющие взрыватели, уничтожают путём подрыва на месте.

10.3. Упаковка и маркировка боевых патронов. Условные знаки и обозначения

После изготовления патроны укупоривают и формируют в партию. Партией патронов называется совокупность однородных изделий, изготовленных за ограниченный период времени по одной и той же конструкторской и технологической документации, одновременно предъявляемых на испытания. По результатам испытаний принимают одно общее решение для всей партии патронов.

Техническими условиями партия патронов ограничивается по количеству и снабжается паспортом, где указываются сведения о патронах и номер партии.

Упаковка патронов представляет собой совокупность транспортной тары, внутренней упаковки, средств амортизации и крепления патронов в таре.

Для внутренней упаковки применяют следующие элементы:

– потребительскую (групповую) тару: металлические коробки, картонные коробки или бумажные пакеты;

– вспомогательные упаковочные средства: прокладки, тканевые ленты и т.п.

Металлические коробки – герметические – изготавливают штамповкой из малоуглеродистой стали и окрашивают защитной эмалью. Для патронов с пулями, содержащими трассирующие составы, кроме клб.12,7 мм и 14,5 мм, применяют коробки с клапаном, предназначенным для стравливания избыточного давления газов, выделяющихся в процессе хранения патронов.

Металлические коробки с патронами укупоривают закатыванием. В металлические коробки помещаются картонные коробки или бумажные пакеты с патронами, кроме патронов клб.12,7 мм и 14,5 мм, которые непосредственно укладывают в металлические коробки. Между рядами патронов помещают бумажные или картонные прокладки и тканевые ленты (для удобства извлечения патронов).

В качестве транспортной тары для патронов используют деревянные ящики, изготовленные из хвойных пород дерева (ель, сосна и т.д.), кроме дна и крышки, которые изготавливают из древесноволокнистой плиты. Крышка у ящика откидная и крепится к его корпусу при помощи металлической арматуры.

В деревянный ящик помещают две металлические коробки с патронами, под одну их которых закладывается тканевая лента, и нож для вскрытия металлических коробок. В ящиках с крышкой из древесноволокнистой плиты нож размещается в гнезде на внутренней стороне торцовой стенки ящика. Учебные патроны, упакованные в картонные коробки и бумажные пакеты, укладываются рядами непосредственно в деревянный ящик (без металлических коробок).

Крепление и амортизация патронов в таре осуществляются при помощи прокладок, каркасов, перегородок из различных материалов: бумаги, картона, фанеры и т.п., определяемых требованиями защиты патронов от механических повреждений при транспортировании и погрузочно-разгрузочных работах.

В картонную коробку, бумажный пакет, металлическую коробку и ящик укладывают патроны в количестве, установленном для каждой номенклатуры (табл. 10.7).

Для упаковывания 5,45-мм и 7,62-мм патронов обр.1943 г. наряду с металлическими коробками используют и влагонепроницаемые пакеты. В них укладывают патроны со стальными гильзами. Пакеты из водонепроницаемой бумаги покрыты с наружной стороны лавсаном, а с внутренней, обращённой к патронам, – парафин-полиизобутиленовой смесью.

Внутрь влагонепроницаемого пакета укладывают в один или два ряда картонные коробки или бумажные пакеты с последующим свариванием швов и загибкой клапанов. Влагонепроницаемые пакеты с патронами укладывают в ящик, в котором на дно, по стенкам и под крышку помещают прокладки из водонепроницаемой бумаги (рис. 10.9).

Маркировка патронов состоит, в общем случае, из соответствующей отличительной окраски, знаков и надписей, наносимых как на составные части патронов, так и на упаковку с патронами.

Таблица 10.7

Количество патронов в упаковке

Наименование патронов	В картонной коробке	В бумажном пакете	В металлической коробке	В ящике
9-мм пистолетный патрон	16	–	80	1280
5,45-мм патрон с обыкновенной пулей	–	30	1080	2160
7,62-мм патрон обр. 1943 г.	20	–	700	1400
7,62-мм винтовочный патрон с тяжёлой пулей	–	20	440	880
12,7-мм патрон с бронебойно-зажигательной пулей	–	–	80	160
14,5-мм патрон с бронебойно-зажигательной пулей	–	–	40	80
5,45-мм холостой патрон	–	30	1080	2160
7.62-мм холостой патрон обр. 1943 г.	20	–	740	1480
7,62-мм холостой винтовочный патрон	–	20	440	880
12,7-мм холостой патрон	–	–	95	190
14,5-мм холостой патрон	–	–	58	116

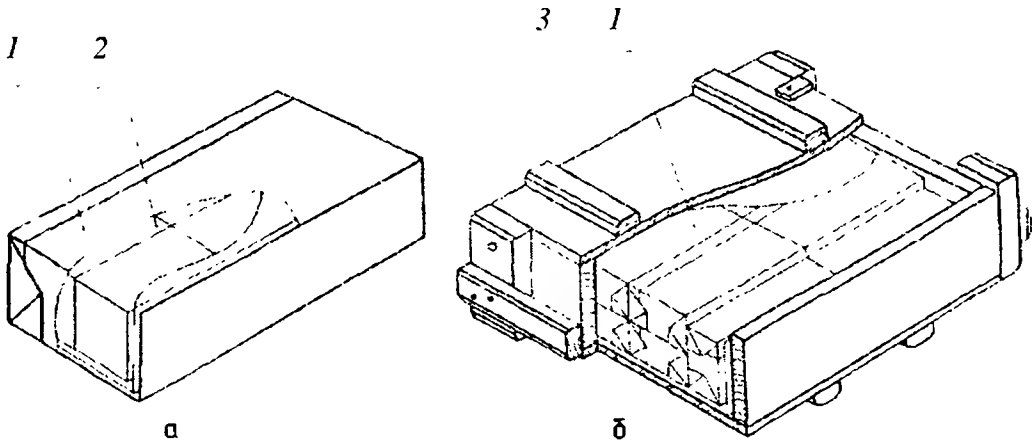


Рис. 10.9. Влагонепроницаемый пакет (*а*) и схема укладки этих пакетов в ящик (*б*): *1* – пакет; *2* – картонная коробка; *3* – ящик

Маркировка наносится:

- на гильзу – на торец донной части;
- на пулю – на головную часть (в соответствии с указанием в чертеже);
- на упаковку – на деревянный ящик, металлическую коробку, влагонепроницаемый пакет, картонную коробку и бумажный пакет.

На торец донной части гильзы штампованием наносится маркировка, содержащая условный номер предприятия-изготовителя и год изготовления (две последние цифры года). Иногда дополнительно наносятся знаки в виде двух диаметрально расположенных пятиконечных звёздочек. Маркировка на головную часть пуль наносится в виде отличительной окраски (табл. 10.8).

Таблица 10.8

Цвета отличительной окраски пуль патронов

Вид патрона	Цвет окраски головной части пули
Патрон с бронебойно-зажигательной пулей Б-32	Чёрный и красный
Патрон с бронебойно-зажигательной пулей БС	Чёрный и красный – до места обжима дульца гильзы
Патрон с бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей БЗТ или БЗТ-44	Фиолетовый и красный
Патрон с зажигательной, пристрелочно-зажигательной пулей	Красный
Патрон с зажигательной пулей мгновенного действия МДЗ	Красный – до места обжима дульца гильзы
Патрон с трассирующей пулей	Зелёный
Патрон с уменьшенной скоростью пули	Чёрный и зелёный
Патрон высокого давления	Жёлтый – до места обжима дульца гильзы (кроме патронов клб 7,62 мм обр.1943 г. и винтовочных патронов клб 7,62 мм, у которых пули отличаются особой формой и окраски не имеют)
Патрон с усиленным зарядом	Чёрный – до места обжима дульца гильзы
Образцовый патрон	Белый

Кроме отличительной окраски по окружности стыков гильзы с пулей и капсюлем-воспламенителем наносится в виде ободка красного цвета тонкий слой лака-герметизатора, представляющего собой раствор смолы в органическом растворителе, подкрашенный красителем красного цвета. Для герметизации 12,7-мм и 14,5-мм холостых патронов по окружности стыков гильзы с колпачком и капсюлем-воспламенителем применяется герметизатор, подкрашенный красителем зелёного цвета.

На рис. 10.10 показаны примеры расположения отличительной окраски на пулях боевых патронов, а на рис. 10.11 – расположение маркировки на торце донной части гильзы.

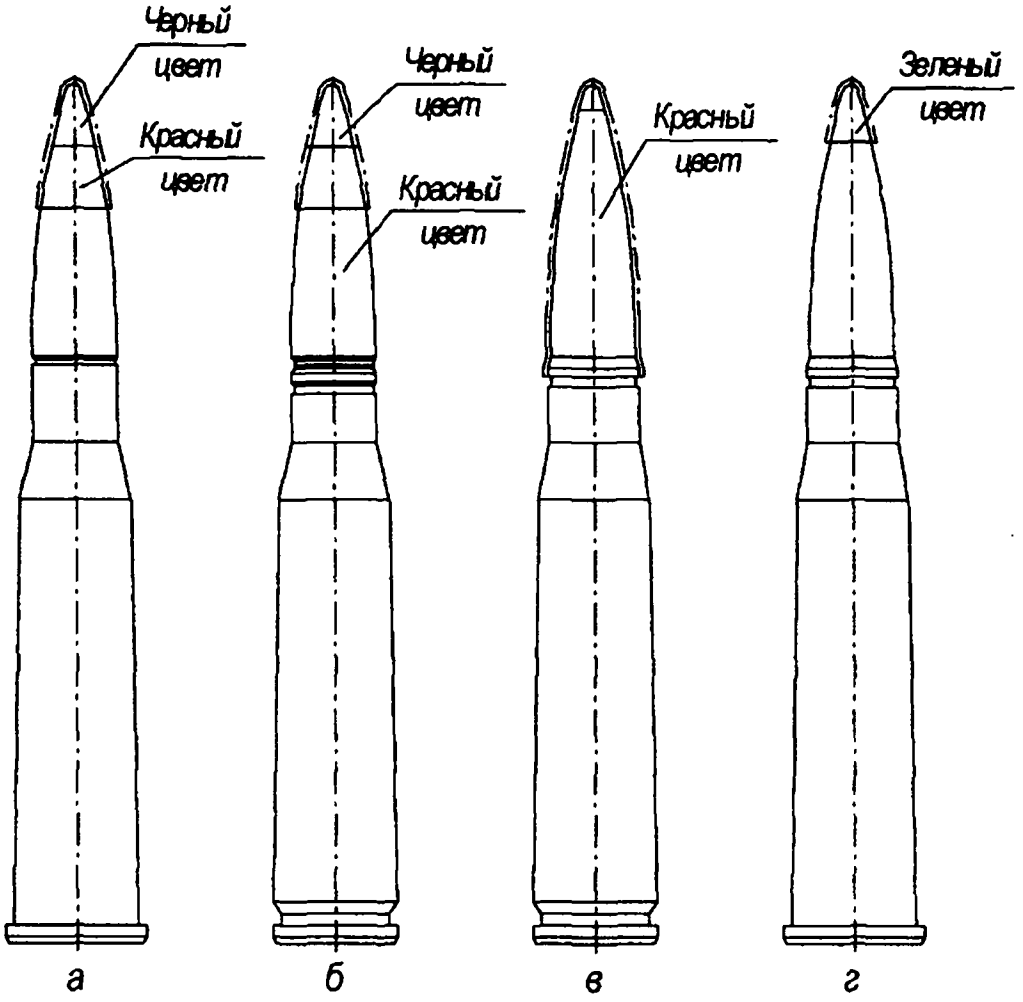


Рис. 10.10. Схема окраски пуль боевых патронов: *а* – с бронебойно-зажигательной пулей Б-32; *б* – с бронебойно-зажигательной пулей БС; *в* – с пулей МДЗ; *г* – с трассирующей пулей

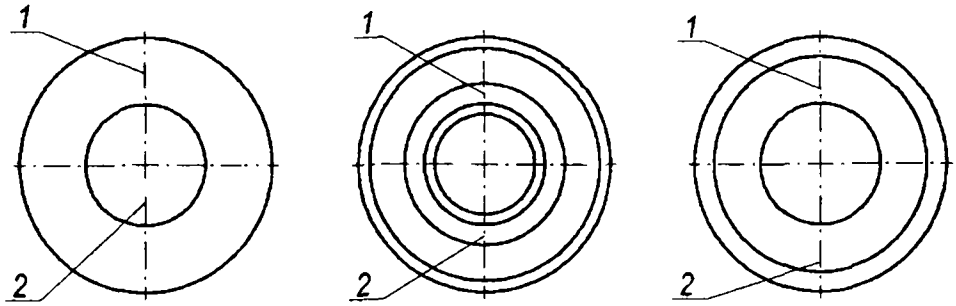


Рис. 10.11. Расположение маркировки на торце донной части гильзы: *1* – условный номер предприятия-изготовителя; *2* – год изготовления (две последние цифры)

Маркировка упаковки патронов состоит из цветных отличительных полос, знаков и надписей чёрного цвета. Маркировка на упаковку с патронами наносится:

- на деревянном ящике – на крышке и на одной боковой стенке;
- на металлической коробке – на крышке;
- на влагонепроницаемом пакете – на продольных сторонах пакета;
- на картонной коробке или бумажном пакете – на одной из сторон.

На крышке ящика указываются масса брутто, кг; транспортный знак в равностороннем треугольнике со стороной 150 мм, вершина которого направлена в сторону крепления петель (рис. 10.12).

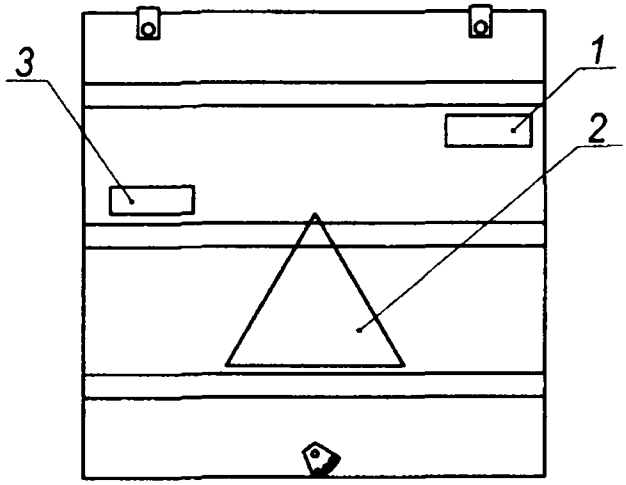


Рис. 10.12. Маркировка на крышке ящика: *1* – масса брутто в целых числах; *2* – треугольник – условный шифр РФ; *3* – шифр класса опасности

С 1990 г. взамен разряда груза (цифры 2) в указанном треугольнике наносят условный номер опасного груза (для боевых и вспомогательных патронов, кроме патронов с пулями МДЗ и холостых – 450; для патронов с пулями МДЗ – 263 и для холостых патронов – 471).

Для боевых и вспомогательных патронов, кроме учебных, черной краской указывается классификационный шифр – 1,4S (знак опасности груза). Бумажный ярлык со знаком опасности применяется только для 12,7-мм и 14,5-мм патронов с пулей МДЗ. На знаке опасности (оранжевый фон) изображён символ опасности – чёрная взрывающаяся бомба, а ниже – номер подкласса (1.2), группа совместимости (F) и номер класса (1).

На ящик с учебными патронами знак разряда груза и условный номер опасности не наносятся. На боковой стенке ящика чёрной краской по трафарету наносят:

- условное обозначение патронов;
- надписи “обр.43”, “Снайперские”, “Винтовочные”, “Пистолетные”;
- номер партии;
- год изготовления (две последние цифры);
- условный номер предприятия-изготовителя;
- маркировку партии пороха;
- количество патронов;
- количество обтюраторов (для 7,62-мм патронов обр. 1943 г. с уменьшенной скоростью пули УС);
- отличительную полосу, знак или надпись, характеризующие вид пули или патрона.

В табл. 10.9, 10.10 приведены условные обозначения пуль, патронов и гильз, которые наносят на боковую поверхность патронных ящиков и коробок. На рис. 10.13, 10.14 показаны схема и пример маркировки боковой стенки ящика.

Таблица 10.9

Условные обозначения пуль, патронов и гильз

Вид пули, патрона, гильзы	Условное обозначение
Обыкновенная пуля	ПС
Пуля со стальным сердечником для патрона обр. 1943 г.	То же

Вид пули, патрона, гильзы	Условное обозначение
Пуля для винтовочного снайперского патрона	>>
Пуля со стальным сердечником для пистолетного патрона	Пст
Пуля со стальным сердечником для винтовочного патрона	ЛПС
Трассирующая пуля	Т
Трассирующая пуля для пистолетного патрона	ПТ
Трассирующая пуля Т-45	Т-45
Трассирующая пуля Т-46	Т-46
Бронебойно-зажигательная пуля Б-32	Б-32
Бронебойно-зажигательная пуля БС	БС
Бронебойно-зажигательно-трассирующая пуля БЗТ-44	БЗТ-44
Бронебойно-зажигательно-трассирующая пуля БЗТ	БЗТ
Пристрелочно-зажигательная пуля ПЗ	ПЗ
Зажигательная пуля мгновенного действия МДЗ	МДЗ, МДЗМ
Револьверный патрон	Р
Патрон с уменьшенной скоростью пули	УС
Двухпульный патрон калибра 12,7-мм 1СЛ	1СЛ
Двухпульный патрон калибра 12,7-мм 1СЛТ	1СЛТ
Патрон с усиленным зарядом	УЗ
Патрон высокого давления	ВД
Учебный патрон	УЧ
Гильза латунная	гл
Гильза биметаллическая	гж
Гильза стальная лакированная	гс

Таблица 10.10

Отличительные полосы, знаки и надписи на патронных ящиках и коробках

Вид патрона	Вид и цвет отличительной полосы, знака, содержание надписи
Патрон с бронебойной пулей	Чёрная полоса
Патрон с бронебойно-зажигательной пулей Б-32	Двухцветная полоса чёрного и красного цветов
Патрон с бронебойно-зажигательной пулей БС	Кольцо красного цвета, разделённое поперечной полосой чёрного цвета
Патрон с бронебойно-зажигательно-трассирующей пулей	Двухцветная полоса фиолетового и красного цветов
Патрон с зажигательной или пристрелочно-зажигательной пулей	Полоса красного цвета
Патрон с зажигательной пулей мгновенного действия	Два концентрических кольца красного цвета
Патрон с трассирующей пулей или двухпульный патрон калибра 12,7 мм	Полоса зелёного цвета

Вид патрона	Вид и цвет отличительной полосы, знака, содержание надписи
1СЛТ Патрон с уменьшенной скоростью пули	Двухцветная полоса чёрного и зелёного цветов
Патрон калибра 7,62 мм обр. 1943 г.	Надпись “Обр.43”
Патрон снайперский	Надпись “Снайперский”
Патрон с усиленным зарядом	Надпись “Усиленный заряд”
Патрон высокого давления	Крышка ящика от планок до краёв окрашена в жёлтый цвет, надпись “Высокое давление”
Холостой патрон	Надпись “Холостые”. Для холостых винтовочных патронов наносят надпись “Винтовочные”
Учебный патрон	Надпись “Учебные”. Для пистолетных и винтовочных патронов калибра 7,62 мм наносят надпись соответственно “Пистолетные” или “Винтовочные”
Образцовый патрон	Надпись “Образцовые”

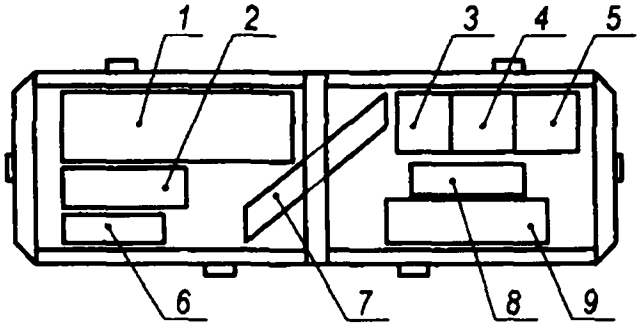


Рис.10.13. Маркировка на боковой поверхности ящика: *1* – условное обозначение патрона; *2* – надпись – “снайперские”, “винтовочные”, “пистолетные”; *3* – номер партии; *4* – год изготовления; *5* – условный номер предприятия-изготовителя; *6* – количество патронов в ящике; *7* – отличительная полоса, знак или надпись “усиленный заряд”, “высокое давление”, “учебные”, “образцовые”; *8* – маркировка партии пороха; *9* – влагонепроницаемые пакеты

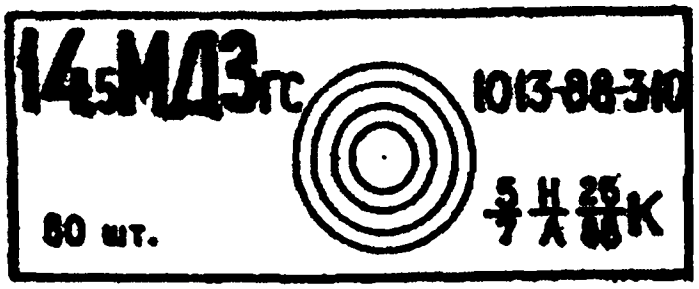


Рис. 10.14. Пример маркировки на боковой стенке ящика: 14,5-мм патроны с пулями мгновенного действия зажигательными, ГС – гильзы стальные, партия Ю13 – 1988 г., изготовитель – завод 310

Маркировка на крышке металлической коробки содержит те же данные, что и на боковой стенке ящика. При этом указываемое в маркировке количество патронов соответствует их количеству в металлической коробке (рис. 10.15).

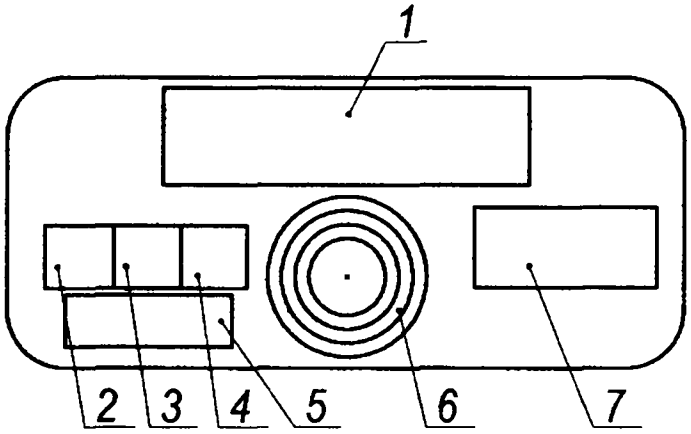


Рис.10.15. Схема расположения маркировки на металлической крышке коробки: *1* – условное обозначение патрона; *2* – номер партии; *3* – год изготовления; *4* – условный номер предприятия-изготовителя; *5* – количество патронов в коробке; *6* – отличительный знак патрона; *7* – маркировка партии пороха

10.4. Маркировка патронов к гражданскому и служебному оружию

До последнего времени не было единых требований к маркировке патронов к гражданскому и служебному оружию.

Наиболее известные заводы-изготовители вводят в формулу обозначения патрона калибр, длину гильзы, тип гильзы, массу пули, тип пули, номер модификации (рис. 10.16).

Калибр – это диаметр канала ствола, измеренный по полям или по нарезам. Величину калибра выражают в миллиметрах или сотых долях дюйма, длину гильзы – в миллиметрах. Как правило, вводят в обозначение только наличие выступающего фланца буквой "R", а обозначения гильзы бесфланцевой (RL) в формулу не вводят.

Например:

• 7,62×39 - 8FMj - 7,62 мм – охотничий патрон с длиной гильзы 39 мм, массой пули 8 г, пуля цельнооболочечная;

• 7,62×54R - 10FMj - 7,62 мм – охотничий патрон с длиной гильзы 54 мм, гильза с выступающим фланцем, масса пули 10 г, пуля цельнооболочечная.

Массу пули выражают в граммах или в английских гранах. Тип пули определяет её конструкцию.

Рис. 10.16. Обозначение патрона к гражданскому или служебному оружию: *1* – калибр; *2* – длина гильзы; *3* – тип гильзы: *4* – масса пули; *5* – типпули; *6* – номер модификации

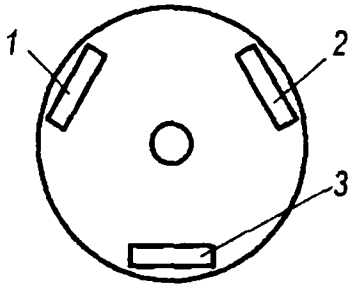


Рис. 10.17. Маркировка на дне гильзы: *1* – обозначение калибра; *2* – товарный знак завода-изготовителя; *3* – год изготовления (две последние цифры)

Имеются и другие варианты обозначения патрона:

1. Калибр, длина гильзы:

6,5×57R,

6,5×57.

2. Калибр, разработчик патрона:

.308 Win (Винчестер),

.223 Rem (Ремингтон).

3. Калибр, образец оружия, под который впервые разработан патрон:

.40 S&W (Смит-Вессон),

7,65-мм Browning (Браунинг).

4. Калибр, год введения патрона:

30-03 (7,62-мм, патрон введён в 1903 г.).

Иногда фирмы-изготовители вводят в обозначение мощность патрона “Mag” (MAG – мощный патрон):

.300 Win Mag, 7 мм Rem Mag.

Схема расположения маркировочных знаков показана: на дне гильзы (рис. 10.17), и на первичной упаковке (рис. 10.18). Схема расположения маркировочных знаков на транспортной таре показана на рис. 10.19.

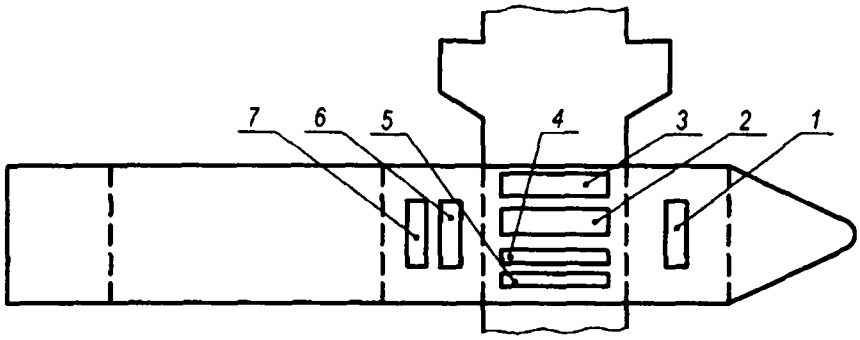


Рис. 10.18. Маркировка на первичной упаковке: *1* – товарный знак завода-изготовителя; *2* – наименование завода-изготовителя; *3* – наименование патрона, номер ТУ; *4* – количество изделий; *5* – номер партии, год изготовления; *6* – знак соответствия; *7* – клеймо

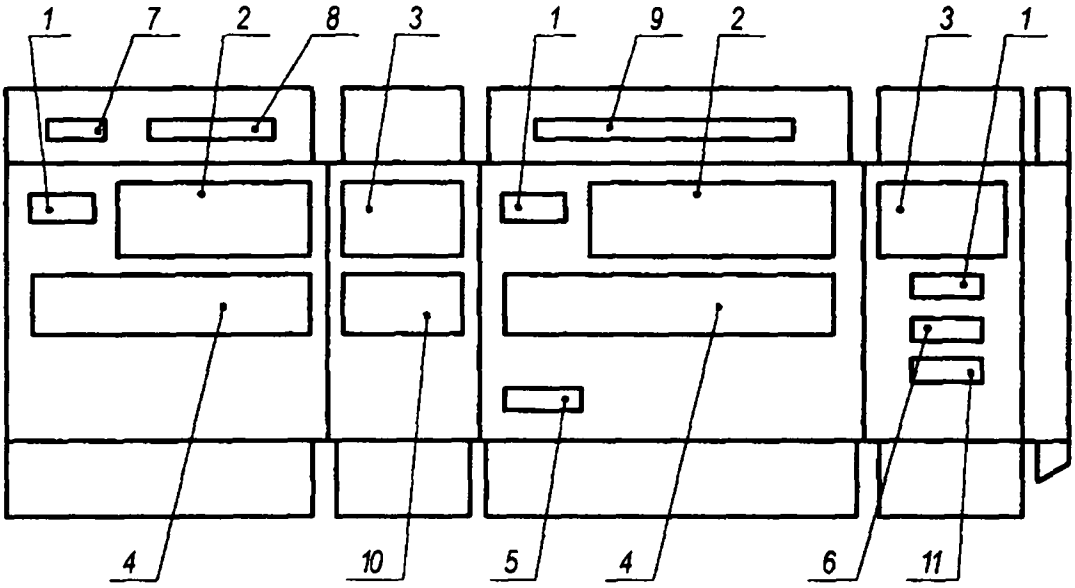


Рис. 10.19. Маркировка на транспортной таре: *1* – товарный знак завода-изготовителя; *2* – наименование завода-изготовителя; *3* – государство-изготовитель; *4* – наименование патрона; *5* – номер партии; *6* – количество патронов; *7* – классификационный шифр; *8* – номер классификации груза по списку ООН; *9* – маркировка транспортной тары; *10* – фирма-заказчик; *11* – предупреждения

В настоящее время принята единая система обозначения типов пуль патронов охотничьего и спортивного оружия и соответствующие им аббревиатуры. Рассмотрим основные из них (рис. 10.20):

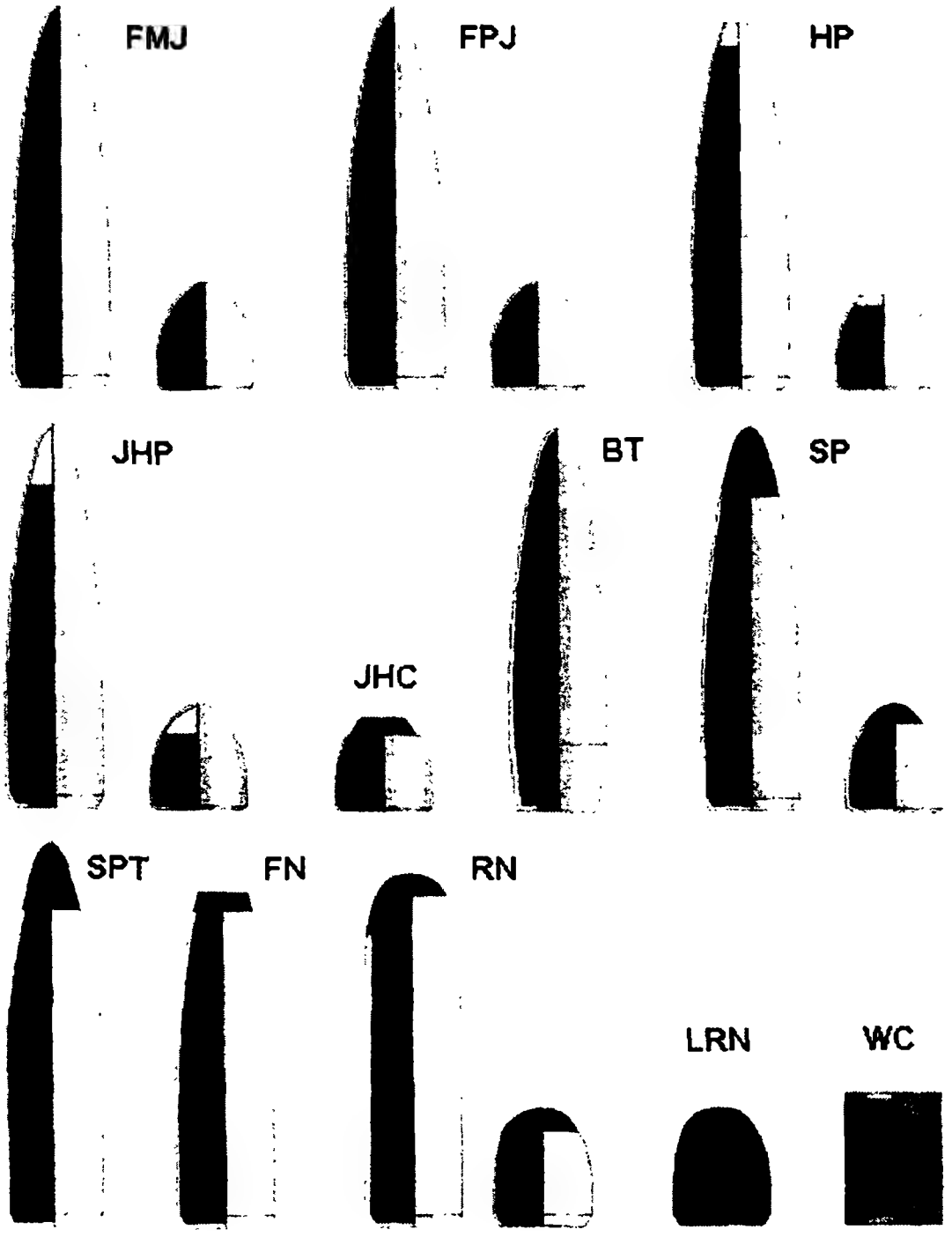


Рис. 10.20. Маркировка типов пуль

FMJ–Full Metal Jacket – "пуля с полной металлической оболочкой" (с цельнометаллической оболочкой). Она пригодна как для охоты, так и для спорта. Эта, как правило двухэлементная,

пуля состоит из оболочки, изготовленной из мягкого металла (от мельхиора и томпака до биметалла, то есть стали, плакированной, покрытой, с двух сторон томпаком) и свинцового сердечника. FMJ имеет классический пульный профиль: оживальную, ведущую и хвостовую части. Наконечник пули не имеет отверстий. Сердечник за пределы оболочки не выступает. Хвостовая часть может изготавливаться как с загибкой края оболочки, так и без таковой. Пуля такого типа предпочтительна в охотах на крупного зверя. Она обеспечит достаточное пробивное и останавливающее действие.

FPJ–Full Profile Jacket – "пуля с полным профилем оболочки". Современные технологии позволяют получать пули, имеющие сердечник, со всех сторон закрытый оболочкой. Таким образом, исключается контакт пороховых газов со свинцом сердечника и образование вредных для здоровья испарений. Это особенно важно в случае стрельбы в помещении. Пули этого типа применяются, в основном, в пистолетных патронах, хотя имеются и в винтовочных.

HP–Hollow Point – "пуля с пустым (полым) наконечником". Один из самых распространённых и эффективных типов пуль. Конструкция полости может быть различной: от простого усечённого конуса, основанием направленного к вершине пули в оболочечных пулях, до многоступенчатых глухих отверстий, сочетающих в себе параболический, эвольвентный профиль, конусы и цилиндры в безоболочечных. Этот тип относится к экспансивным пулям, то есть к пулям, увеличивающимся в диаметре в процессе действия по цели.

Пули этого типа в оболочечном исполнении не имеют отверстия внутри сердечника, и полость формируется внутренней поверхностью оболочки. Оболочка может иметь с внутренней стороны оживальной части осевые надрезы для усиления "экспансивности".

JHP–Jacketed Hollow Point – "полость в головной части прикрыта оболочкой".Пули такого типа для охоты не применяются и используются в спортивной стрельбе, так как имеют лучшую кучность за счёт смещения центра тяжести назад к хвостовой части.

SJHP–Semi-Jacketed Hollow Point – "полуоболочечная с полостью в головной части". По сути, это обычная HP пуля. Такое название применяется некоторыми фирмами. Полуоболочечной можно назвать любую пулю, имеющую отверстие в головной части или выступающий сердечник.

JHC–Jacketed Hollow Cavity – "оболочечная пуля с каверной" (тип пистолетной пули). Такие пули имеют оболочку, как с надрезами внутри, так и без таковых, и тупоконечный с плоской вершиной сердечник, выступающий за срез оболочки. Внутри сердечника выполнено глухое осевое отверстие-каверна. Отверстие большое и глубокое.

BT–Boat Tail – "тело, подобное лодке". Пуля оболочечная, имеет коническую хвостовую часть для уменьшения длины ведущей части пули и увеличения плотности монтажа. То и другое необходимо для повышения кучности боя. Пули такого типа применяются, как правило, в винтовочных патронах.

SP–Soft Point – "мягкий наконечник". Пули этого типа экспансивные, имеют оболочку и выступающий из неё мягкий сердечник без отверстия. Точно такую же головную часть имеют пули следующего типа.

SPT–Spitzer – "вертел, шампур". Остроконечные пули не имеют заднего конуса.

FN–Flft Nose – "пуля с плоской головной частью". Такая конструкция пули используется как в пистолетных, так и в винтовочных патронах для охоты. Как правило, сердечник выступает за оболочку пули.

RN–Round Nose – "круглый наконечник". Это экспансивные пули без заднего конуса с тупым, круглым свинцовым наконечником. Пули тяжёлые, предназначены для охоты на зверя.

LRN–Lead Round Nose – "свинцовая пуля с круглым наконечником". Тип пистолетной пули. Применение свинцовых пуль в винтовочных патронах невозможно из-за высокой начальной скорости – пуля будет срываться с нарезов.

WC–Wad Cutter – "штампованная пуля". Это свинцовая, цилиндрическая пуля с накаткой на ведущей части. Такого типа пули не имеют выраженной конической головной части.

Зная обозначения основных конструкций пуль, можно соста-

вить представление о форме и конструкции пули по её названию. Например:

FMJBT–Full Metal Jacket Boat Tail – пуля с цельнометаллической оболочкой, имеющая задний конус, или

HPBT–Hollow Point Boat Tail – экспансивная пуля, оболочечная, с задним конусом, имеющая полость в головной части, или

SPT–Spitzer Boat Tail – экспансивная, остроконечная с мягким выступающим наконечником, с задним конусом пуля, или

JSP–Jacketed Soft Point – оболочечная с мягким выступающим наконечником пуля, и т. д.

Имеются и другие оригинальные конструкции пуль, которые выпускают различные формы и снаряжают ими охотничьи и спортивные патроны.

Библиографический список

1. *Маркевич В.Е.* Ручное огнестрельное оружие. СПб.: Полигон. 1994. 545 с.
2. *Гринер В.* Ружьё: Пер. с англ. М. 1884. 375 с.
3. *Кириллов В.М., Сабельников В.Н.* Патроны стрелкового оружия. М.: ЦНИИ информации, 1980. 372 с.
4. *Благонравов А.А.* Основания проектирования стрелкового оружия. М.: Оборонгиз, 1940. 487 с.
5. *Болотин Д.Н.* История советского стрелкового оружия и патронов. СПб.: Полигон, 1995. 301с.
6. *Брагин С.Я.* Оружие улицы от кистеня до гранатомета. Нижний Новгород: Времена, 1997. 224 с.
7. *Чурбанов Е.В.* Краткий курс баллистики: Учебное пособие / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2000. 214 с.
8. *Васильев Н.Н.*, Лазарев В.В. и др. Стрелковое оружие и боеприпасы / СПб.: Университет МВД России; Академия права, экономики, безопасности и жизнедеятельности. СПБ: Фонд "Университет". 2001. 544 с.
9. *Смирнов-Аляев Г.А.* Сопротивление материалов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение. 1978. 368 с.
10. *Вентцель Д.А.* Внутренняя баллистика. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1948. 447 с.
11. *Слухоцкий В.Е.* Поправочные формулы внутренней баллистики. М.: Воениздат, 1941. 327 с.

1. Значения основных функций

Д(υ)	I(υ)	T(υ)	υ	Д(υ)	I(υ)	T(υ)	υ
3000	0,0217785	1,81452	1382,3	5000	0,0483475	3,45602	1078,4
3100	228181	88731	1365,3	5100	500561	54932	1064,9
3200	238836	96101	1348,6	5200	518086	64383	1051,4
3300	249757	2,03562	1332,1	5300	536060	73955	1038,1
3400	260952	11115	1315,8	5400	554498	83648	1025,0
3500	272425	18761	1299.7	5500	573415	93966	1011,9
3600	284486	26503	1283,7	5600	592826	4,03413	999,0
3700	296242	34341	1268,0	5700	612743	13489	986,2
3800	308598	42276	1252,4	5800	633181	23694	973,5
3900	321262	50309	1237,0	5900	654156	34034	960,9
4000	334244	58444	1221,8	6000	675685	44509	948,4
4100	347550	66680	1206,8	6100	697787	55123	936,0
4200	361191	75018	1191,9	6200	720478	65876	923.8
4300	375176	83460	1177,2	6300	743777	76774	911,6
4400	389511	92008	1162,6	6400	767704	87817	899,5
4500	404208	3,00664	1148,2	6500	792280	99008	887,6
4600	419278	09429	1134.0	6600	817520	5,10531	875,7
4700	434729	18303	1119,9	6700	843450	21848	864,0
4800	450572	27289	1105,9	6800	870090	33501	853,4
4900	0,0466816	3,36388	1092,1	6900	,0897470	5,45314	840,7
7000	0,092561	5,57291	829,2	10600	0,277552	11,3240	473,7
7100	095455	69434	817,9	10700	286451	5370	465.4
7200	098430	81746	806,6	10800	295671	7538	457,2
7300	101487	94232	795,4	10900	305227	9744	449.1
7400	104631	6,06894	784,3	11000	315134	12,1991	441,1
7500	107866	19735	773,3	11100	325402	4279	433,2
7600	111194	32757	762,4	11200	336049	6608	425,4
7700	114618	45968	751,6	11300	347089	8980	417,8
7800	118142	59371	740,8	11400	358537	13,1396	410,2
7900	121770	72967	730,2	11500	370408	3856	402,8
8000	125504	86762	719,6	11600	382723	6362	395.6
8100	129350	7,00762	709,1	11700	395495	8913	388,4
8200	133311	14970	698,7	11800	408737	14,1511	381,5
8300	137390	29390	688,4	11900	422467	4156	374,7
8400	141592	44027	678,1	12000	436697	6849	368,1
8500	145923	58885	668,0	12100	45144	9590	361,7
8600	150389	73970	657,9	12200	46670	15,2379	355,5
8700	154992	89285	647,9	12300	48249	5216	349.6
8800	159737	8,04839	638,0	12400	49881	8100	344,0
8900	164631	20635	628,2	12500	51566	16,1031	338,7
9000	169681	36678	618.4	12600	53302	4005	333,8

Д(υ)	l(υ)	T(υ)	υ	Д(υ)	l(υ)	T(υ)	υ
9100	174892	52974	608,8	12700	55088	7023	329,2
9200	180270	69530	599,2	12800	56923	17,0080	325,0
9300	185823	86354	589,7	12900	58803	3176	321,1
9400	191557	9,03450	580,3	13000	60727	6308	317,6
9500	197480	20825	570,9	13100	62091	9471	314,5
9600	203600	38487	561,6	13200	64694	18,2665	311,6
9700	209924	56440	552,5	13300	66733	5889	308.8
9800	216460	74691	543,4	13400	68808	9142	306,1
9900	223216	93249	534,4	13500	70920	19,2422	303,5
10000	230203	10,1212	525,4	13600	73068	5731	301,0
10100	237431	3132	516,6	13700	75251	9068	298,5
10200	244911	5084	507,8	13800	77472	20,2431	296,1
10300	252652	7071	499,2	13900	79728	5822	293,7
10400	260664	9091	490,6	14000	82020	9240	291,4
10500	0,268961	11,1148	482,1	14100	0,84349	21,2685	289,1
14200	0,86716	21,6157	286,8	17800	2,00655	36,0319	219,0
14300	89119	9656	284,6	17900	04776	4903	217,4
14400	91560	22,3183	282,4	18000	08958	9521	215,8
14500	94039	6738	280,3	18100	13204	37,4142	214,2
14600	96559	23,0321	278,2	18200	17514	8859	212,6
14700	99112	3930	276,0	18300	21889	38,3582	211,0
14800	1,01706	7567	274,0	18400	26329	8341	209,4
14900	04340	24,1232	271,9	18500	30835	33,3134	207,9
15000	07014	4923	269,9	18600	35409	7963	206,3
15100	09729	8642	267,8	18700	40052	40,2828	204,8
15200	12486	25,2389	265,8	18800	44764	7729	203,3
15300	15283	6166	263,9	18900	49548	41,2667	201,8
15400	18121	9971	261,9	19000	54404	764	200,3
15500	21002	26,3804	260,0	19100	59334	42,265	198,8
15600	23927	7665	258,0	19200	64336	770	198,3
15700	26296	27,1555	256,1	19300	69413	43,279	195,9
15800	29909	5474	254,2	19400	74567	792	194,4
15900	32967	9922	252,3	19500	79799	44,308	192,9
16000	36072	28,3400	250,4	19600	85111	828	191,5
16100	39224	7408	248,6	19700	90503	45,353	190,1
16200	42423	29,1445	246,7	19800	95975	881	188,7
16300	45669	5513	244,9	19900	3,01527	46,413	187,3
16400	48964	9611	243,4	20000	07160	949	185,9
16500	52309	30,3740	241,3	20100	12880	47,489	184,5
16600	55706	7900	239,5	20200	18688	48,033	183,1
16700	59153	31,2092	237,7	20300	24582	581	181,8
16800	62651	6315	236,0	20400	30564	49,133	180,4
16900	66202	32,0568	234,2	20500	36636	690	179,1
17000	69806	4853	232,4	20600	42800	50,250	177,7
17100	73464	9171	230,7	20700	49057	815	176,4

Д(υ)	l(υ)	T(υ)	υ	Д(υ)	l(υ)	T(υ)	υ
17200	77177	33,3521	229,0	20800	55407	51,384	175,1
17300	80945	7904	227,3	20900	61854	957	173,8
17400	84771	34,2320	225,6	21000	68398	52,534	172,5
17500	88654	6770	224,0	21100	75039	53,116	171,2
17600	92594	35,1252	222,3	21200	81780	702	170,0
17700	1,95594	5769	220,6	21300	3,88621	54,293	168,7
21400	3,95565	54,888	167,5	24300	6,4939	74,220	134,9
21500	4,02613	55,487	166,2	24400	6025	964	133,9
21600	09768	56,091	165,0	24500	7128	75,714	132,9
21700	17031	700	163,7	24600	8247	76,469	131,9
21800	24405	57,313	162,5	24700	9383	77,230	130,9
21900	31886	930	161,3	24800	7,0536	997	130,0
22000	39478	58,552	160,1	24900	1706	78,769	129,0
22100	47183	59,179	158,9	25000	2893	79,577	128,0
22200	55005	810	157,8	25100	4099	80,331	127,1
22300	62945	60,447	156,6	25200	5323	81,120	126,2
22400	71006	61,088	155,4	25300	6565	916	125,2
22500	79190	734	154,3	25400	7826	82,718	124,3
22600	87498	62,284	153,1	25500	9105	83,526	123,4
22700	95931	63,040	152,0	25600	8,0404	84,339	122,4
22800	5,04490	700	150,9	25700	1723	85,159	121,5
22900	13174	64,366	149,7	25800	3061	985	120,6
23000	21981	65,036	148,6	25900	4420	86,817	119,7
23100	30934	711	147,5	26000	5798	87,655	118,8
23200	40017	66,392	146,4	26100	7198	88,500	118,0
23300	49237	67,077	154,4	26200	8618	89,351	117,1
23400	58593	768	144,3	26300	9,0060	90,208	116,2
23500	68090	68,463	143,2	26400	1524	91,072	115,4
23600	77731	69,165	142,1	26500	3009	942	114,5
23700	85517	871	141,1	26600	4517	92,818	113,6
23800	9745	70,582	140,0	26700	6047	93,701	112,8
23900	6,0753	71,299	139,0	26800	7601	94,591	112,0
24000	1776	72,021	138,0	26900	9177	95,488	111,1
24100	2815	749	136,9	27000	0,0778	96,391	110,3
24200	6,3869	73,482	135,9				

2. Значения вспомогательных функций

$$f_0 = c' \sin 2\theta_0$$

c'X	υ_0								
	1200	1175	1150	1125	1100	1075	1050	1025	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0,00174	0,00181	0,00189	0,00198	0,00207	0,00217	0,00237	0,00239	0,00252
500	00355	00370	00386	00404	00423	00443	00464	00488	00513
750	00544	00567	00592	00619	00649	00679	00712	00748	00785
1000	00741	00743	00808	00844	00884	00926	00971	01019	01071
1250	00947	00987	01033	01079	01130	01184	01242	01303	01371
1500	01162	01211	01268	01324	01387	01454	01525	01601	01685
1750	01338	01445	01513	01580	01656	01736	01821	01913	02014
2000	01622	01691	01770	01849	01937	02031	02132	02240	02358
2250	01868	01948	02039	02131	02232	02340	02485	02583	02720
2500	02125	02217	02320	02426	02541	02665	02799	02943	03100
2750	02394	02500	02614	02735	02865	03006	03158	03321	03499
3000	02676	02796	02923	03060	03206	03364	03535	03719	03918
3250	02972	03106	03247	03401	03564	03740	03931	04138	04360
3500	03282	03431	03587	03758	03940	04137	04349	04579	04827
3750	03608	03772	03945	04134	04336	04555	04789	05044	05320
4000	0,03951	0,04131	0,04322	0,04530	0,04753	0,04995	0,05254	0,5535	0,05840

c'X	v_0								
	1000	975	950	925	900	875	850	825	800
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0,00200	0,00211	0,00222	0,00233	0,00246	0,00260	0,00275	0,00292	0,00312
400	00407	00429	00451	00475	00502	00531	00562	00597	00636
600	00621	00654	00688	00726	00768	00812	00860	00914	00973
800	00842	00886	00934	00986	01043	01104	01170	01243	01324
1000	01071	01127	01189	01256	01328	01407	01492	01585	01688
1200	01309	01378	01454	01537	01624	01722	01827	01941	02067
1400	01556	01639	01730	01828	01932	02049	02175	02311	02462
1600	01813	01910	02016	02130	02253	02389	02537	02697	02874
1800	02080	02192	02313	02444	02586	02742	02913	03099	03304
2000	02358	02485	02622	02771	02933	03110	03305	03518	03752
2200	02646	02789	02943	03111	03295	03495	03715	03956	04219
2400	02945	03105	03277	03465	03672	03896	04143	04413	04707
2600	03256	03434	03625	03835	04065	04314	04590	04891	05219
2800	03580	03777	03989	04221	04475	04751	05056	05390	05755
3000	03918	04134	04369	04625	04903	05207	05543	05912	06316
3200	04271	04507	04765	05047	05350	05684	06052	06458	06903
3400	04639	04896	05179	05487	05818	06183	06586	07030	07519
3600	05022	05302	05611	05946	06308	06707	07146	07631	08166
3800	05422	05727	06061	06425	06821	07256	07734	08262	08846
4000	0,05840	0,06171	0,06532	0,06926	0,07358	0,07832	0,08352	0,08926	0,09561

c'X	Y_0								
	800	780	760	740	720	700	680	660	640
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,00155	0,00163	0,00172	0,00182	0,00192	0,00203	0,00215	0,00228	0,00243
200	00312	00329	00347	00366	00387	00409	00434	00461	00491
300	00472	00498	00525	00554	00585	00619	00657	00699	00744
400	00636	00670	00707	00746	00787	00834	00885	00941	01002
500	00803	00846	00892	00941	00994	01053	01117	01188	01265
600	00973	01024	01080	01141	01206	01277	01355	01440	01533
700	01147	01206	01272	01345	01422	01506	01598	01697	01807
800	01324	01392	01469	01553	01642	01739	01846	01960	02087
900	01504	01582	06070	01765	01867	01977	02098	02229	02370
1000	01688	01777	01857	01981	02096	02220	02355	02504	02668
1100	01876	01976	02085	02202	02330	02468	02618	02785	02968
1200	02067	02179	02299	02428	02569	02722	02888	03072	03274
1300	02262	02386	02517	02659	02813	02982	03165	03366	03588
1400	02462	02597	02740	02894	03062	03247	03448	03667	03909
1500	02666	02812	02967	03134	03317	03518	03737	03976	04238
1600	02874	03032	03199	03379	03578	03795	04033	04292	04575
1700	03087	03256	03436	03630	03845	04078	04335	04615	04920
1800	03304	03485	03678	03887	04118	04368	04644	04945	05273
1900	03526	03719	03926	04150	04397	04665	04960	05282	05635
2000	0,03752	0,03958	0,04179	0,04419	0,04682	0,04969	0,05283	0,05627	0,06006

c'X	υ_0								
	800	780	760	740	720	700	680	660	640
2100	0,03983	0,04203	0,04438	0,04695	0,04947	0,05270	0,05614	0,05981	0,06386
2200	04219	04453	04703	04977	05273	05598	05953	06344	06775
2300	04460	04709	04974	05265	05579	05924	06301	06716	07174
2400	04707	04970	05251	05559	05893	06258	06657	07097	07582
2500	04960	05237	05535	05860	06214	06600	07022	07487	08000
2600	05219	05510	05826	06168	06543	06950	07396	07887	08430
2700	05485	05790	06124	06484	06880	07309	07780	08298	08870
2800	05755	06077	06429	06808	07255	07677	08174	08720	09323
2900	06033	06371	06741	07140	07578	08054	08578	09153	09787
3000	06316	06672	07060	07481	07939	08441	08991	09596	10263
3250	07054	07457	07894	08367	08883	09451	10075	10759	1151
3500	07839	08293	08781	09309	10528	10528	1123	1200	1284
3750	08674	09178	09724	10315	10964	1168	1245	1332	1425
4000	0,09561	0,10119	0,10727	0,1139	0,1211	0,1290	0,4376	0,1472	0,1576

c'X	v_0								
	640	620	600	590	580	570	560	550	540
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,00243	0,00259	0,00277	0,00286	0,00296	0,00306	0,00317	0,00328	0,00341
200	00491	00523	00559	00578	00598	00619	00641	00664	00689
300	00744	00792	00848	00876	00906	00938	00972	01007	01045
400	01002	01068	01141	01180	01221	01264	01309	01357	01408
500	01265	01349	01441	01491	01543	01598	01655	01715	01779
600	01533	01636	01747	01809	01873	01940	02008	02081	02159
700	01807	01929	02062	02133	02210	02289	02370	02456	02549
800	02087	02229	02382	02465	02554	02645	02740	02841	02949
900	02374	02535	02710	02805	02905	03009	03119	03235	03359
1000	02668	02848	03046	03152	03265	03382	03507	03638	03779
1100	02968	03168	03390	03508	03633	03764	03904	04052	04209
1200	03274	03496	03742	03873	04011	04156	04311	04475	04649
1300	03588	03832	04102	04246	04399	04558	04729	04909	05100
1400	03909	04176	04471	04629	04796	04971	05157	05354	05562
1500	0,04238	0,04528	0,04848	0,05021	0,05203	0,05394	0,05596	0,05810	0,06036

c'X	υ_0								
	640	620	600	590	580	570	560	550	540
1600	0,04575	0,04889	0,05235	0,05423	0,05620	0,05828	0,06046	0,06278	0,06523
1700	04920	05259	05631	05835	06047	06272	06508	06757	07022
1800	05273	05638	06038	06257	06485	06727	06981	07249	07533
1900	05635	06026	06455	06689	06934	07193	07465	07753	08057
2000	06006	06423	06883	07132	07394	07670	07961	08269	08594
2200	06775	07247	07772	08051	08348	0859	08988	09341	09710
2400	07582	08113	08704	09018	09351	09698	10067	10470	10885
2600	08430	09025	09685	10035	10408	10797	1121	1166	1213
2800	09323	09986	10719	1111	1152	1196	1242	1291	1343
3000	10263	10998	1181	1224	1270	1318	1369	1423	1479
3200	1124	4206	1296	1344	1394	1447	1502	1561	1622
3400	1228	1318	1461	1469	1524	1582	1642	1705	1771
3600	1338	1436	1542	1600	1659	1723	1788	1855	1926
3800	1454	1560	1675	1737	1801	1869	1939	2011	2087
4000	0,1576	0,1690	0,1814	0,1880	0,1949	0,2021	0,2096	0,2173	0,2253

c'X	υ_0								
	540	530	520	510	500	490	480	470	460
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,00341	0,00353	0,00366	0,00381	0,00397	0,00412	0,00429	0,00447	0,00468
200	00689	00713	0740	00770	00803	00834	00868	00906	00948
300	01045	01082	01123	01168	01218	01266	01319	01377	01440
400	01408	01460	01516	01577	01643	01710	01782	01860	01944
500	01779	01847	01919	01996	02078	02165	02257	02355	02461
600	02159	02243	02322	02425	02524	02631	02744	02862	02991
700	02549	02649	02754	02865	02982	03108	03242	03381	03534
800	02949	03065	03186	03315	03451	03597	03752	03913	04090
900	03359	03491	03629	03776	03932	04098	04274	04459	04660
1000	03779	03927	04083	04249	04425	04611	04809	05020	05245
1100	04209	04374	04548	04734	04930	05137	05358	05595	05845
1200	04649	04832	05024	05231	05448	05677	05922	06184	06460
1300	05100	05301	05512	05740	05979	06231	06500	06788	07091
1400	05562	05782	06014	06262	06523	06799	07093	07406	07737
1500	0,06036	0,06275	0,06528	0,067796	0,07080	0,07381	0,07700	0,08039	0,08399

c'X	υ_0								
	540	530	520	510	500	490	480	470	460
1600	0,06523	0,06781	0,07056	0,07345	0,07652	0,07978	0,08322	0,0888	0,09077
1700	07022	07300	07596	07907	08237	08590	08960	09353	09772
1800	07533	07832	08150	08485	08839	09217	09614	10035	10483
1900	08057	08378	08717	09077	09457	09860	10285	1073	1121
2000	08594	08937	09300	09684	10090	10519	1097	1145	1196
2200	09710	10099	10513	10950	1142	1190	1241	1294	1351
2400	10885	1132	1179	1227	1281	1334	1391	1449	1511
2600	1213	1261	1313	1366	1425	1484	1546	1610	1678
2800	1343	1396	1453	1512	1575	1640	1707	1777	1851
3000	1479	1538	1600	1664	1731	1801	1874	1949	2029
3200	1622	1686	1753	1822	1894	1968	2047	2127	2212
3400	1771	1840	1912	1986	2063	2141	2226	2311	2401
3600	1926	2000	2077	2156	2238	2320	2410	2501	2595
3800	2087	2166	2248	2331	2418	2506	2600	2696	2795
4000	0,2253	0,2337	0,2424	0,2512	0,2604	0,2698	0,2796	0,2897	0,3001

Продолжение прил. 2

c'X	υ_0								
	460	450	440	430	420	410	400	390	380
100	0,00468	0,00491	0,00514	0,00538	0,00564	0,00592	0,00621	0,00652	0,00688
200	00948	00993	01040	01089	01141	01198	01257	01321	01392
300	01440	01507	01579	01654	01732	01819	01909	02006	02113
400	01944	02034	02131	02232	02339	02455	02577	02708	02851
500	02461	02574	02695	02824	02961	03106	03261	03427	03607
600	02991	03128	03274	03431	03598	03773	03962	04164	04381
700	03534	03696	03867	04053	04250	04457	04680	04918	05174
800	04090	04278	04476	04690	04918	05157	05414	05689	05982
900	04660	04874	05100	05343	05601	05874	06166	06477	06807
1000	05245	05485	05740	06012	06301	06608	06935	07282	07649
1200	06460	06755	07069	07399	07753	08127	08526	08943	09383
1400	07737	08089	08463	08856	09275	09717	10185	10672	1118
1600	09077	09488	09921	10384	1086	1138	1192	1246	1302
1800	10483	1095	1144	1197	1252	1310	1371	1431	1492
2000	1196	1247	1304	1363	1425	1488	1554	1622	1691
2250	1390	1451	1513	1579	1648	1719	1792	1867	1944
2500	1594	1661	1731	1804	1880	1958	2038	2120	2204
2750	1807	1881	1958	2038	2121	2205	2292	2381	2472
3000	2029	2110	2194	2280	2370	2460	2554	2651	2748
3250	2259	2347	2438	2530	2627	2724	2824	2929	3032
3500	2498	2592	2690	2789	2891	2995	3103	3214	3324
3750	2745	2846	2950	3056	3164	3275	3390	3507	3624
4000	0,3001	0,3108	0,3218	0,3330	0,3445	0,3563	0,3685	0,3808	0,3933

c'X	υ_0								
	380	370	360	350	345	340	335	330	325
100	0,00688	0,00726	0,00767	0,00811	0,00833	0,00858	0,00884	0,00911	0,00939
200	01392	01469	01551	01639	01684	01733	01783	01836	01891
300	02113	02229	02352	02483	02552	02624	02697	02775	02855
400	02851	03006	03171	03344	03436	03530	03626	03728	03832
500	03607	03801	04007	04222	04336	04451	04570	04695	04822
600	04381	04614	04860	05116	05252	05387	05528	05675	05825
700	05173	05444	05730	06026	06182	06338	06500	06669	06841
800	06807	07154	07517	07892	08085	08282	08485	08695	08911
1000	07649	08033	08432	08846	09058	09275	09497	09726	09964
1200	09383	09837	10307	10793	1104	4430	1156	1182	1211
1400	1118	1170	1224	1279	1307	1337	1167	1397	1430
1600	1302	1383	1423	1484	1516	1548	1581	1616	1653
1800	1492	1560	1626	1694	1729	1764	1801	0841	1881
2000	1691	1762	1833	1909	1947	1986	2027	2070	2115
2250	1944	2022	2101	2184	2227	2270	2316	2364	2414
2500	2204	2289	2376	2467	2514	2562	2612	2662	2722
2750	2472	2564	2659	2758	2809	2862	2916	2975	3037
3000	2748	2848	2951	3057	3112	3170	3229	3293	3360
3250	3032	3140	3251	3364	3423	3486	3550	3619	3692
3500	3324	3440	3558	3680	3743	3811	3880	3954	4034
3750	3624	3748	3873	4004	4072	4144	4219	4298	4385
4000	0,3933	0,4064	0,4197	0,4337	0,4409	0,4486	0,4566	0,4651	0,4744

Продолжение прил. 2

c'X	υ_0								
	325	320	315	310	305	300	295	290	285
100	0,00939	0,00968	0,00998	0,01029	0,0102	0,01096	0,01134	0,01174	0,01214
200	01891	01947	02007	02069	02135	02204	02279	02359	02441
300	02855	02938	03120	03220	03324	03436	03556	03557	03680
400	03832	03942	04060	04183	04316	04456	04606	04765	04932
500	04822	04958	05103	05258	05424	05600	05788	05987	06197
600	05825	05986	06158	06345	06545	06757	06984	07222	07475
700	06841	07027	07225	07444	07678	07927	08192	08479	08766
800	07870	08079	08305	08555	08823	09109	09412	09731	10071
900	08911	09143	09397	09677	09981	10303	10645	11006	1139
1000	09964	10219	1050	10812	11151	1151	1189	1229	1272
1250	1265	1296	1331	1371	1413	1458	1506	1557	1611
1500	1541	1578	1620	1668	1719	1773	1831	1893	1958
1750	1824	1868	1917	1973	2033	2033	2097	2237	2314
2000	2115	2166	2223	2286	2355	2429	2507	2590	2679
2250	2414	2472	2537	2607	2685	2769	2858	2853	3054
2500	2722	2786	2858	2937	3024	3118	3218	3325	3439
2750	3037	3107	3187	3276	3372	3476	3588	3707	3833
3000	3360	3437	3525	3623	3729	3844	3967	4098	4238
3250	3692	3776	3873	3979	4096	4222	4356	4500	4554
3500	4034	4125	4229	4345	4472	4609	4756	4913	5081
3750	4385	4483	4594	4720	4858	5006	5166	5336	5518
4000	0,4744	0,4849	0,4969	0,5105	0,5254	0,5414	0,5586	0,5770	0,5966

c'X	υ_0								
	285	280	275	270	265	260	255	250	245
100	0,01214	0,01258	0,01304	0,01351	0,01404	0,01460	0,01518	0,01577	0,01642
200	02441	02529	02620	02717	02823	02934	03050	03170	03301
300	03680	03813	03949	04097	04254	04422	04597	04780	04977
400	04932	05109	05293	04590	05700	05924	06159	06405	06669
500	06197	06418	06650	06897	07160	07440	07736	08046	08378
600	07475	07741	08021	08318	08635	08971	09328	09704	10104
700	08766	09077	09406	09754	10125	10517	10936	11379	1185
800	10071	10427	10805	11205	1163	1208	1256	1307	1361
900	1139	1179	1222	1267	1315	1366	1420	1478	1530
1000	1272	1317	1364	1415	1468	1525	1585	1651	1719
1250	1611	1667	1727	1791	1859	1930	2006	2090	2176
1500	1958	2027	2100	2177	2259	2347	2439	2540	2645
1750	2314	2396	2483	2574	2670	2775	2884	3002	3126
2000	2679	2774	2875	2981	3093	3213	3340	3476	3619
2250	3054	3162	3276	3398	3526	3662	3807	3962	4125
2500	3439	3560	3688	3825	3970	4123	4286	4460	4644
2750	3833	3968	4111	4264	4425	4596	4777	4971	5177
3000	4238	4387	4544	4714	4893	5081	5282	5496	5724
3250	4654	4817	4989	5176	5373	5579	5800	6035	6285
3500	5081	5279	6446	5650	5865	6090	6332	6588	6860
3750	5518	5712	5916	6136	6369	6615	6877	7155	7450
4000	0,5966	0,6176	0,6398	0,6635	0,6886	0,7154	0,7436	0,7737	0,8056

$$f_0 = \frac{Y}{Xtg\theta_0}$$

c'X	υ_0									
	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1450	1400	1350	1300
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552
1000	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605
1500	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659
2000	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2715
2500	2770	2770	2770	2770	2770	2770	2770	2770	2771	2773
3000	2826	2826	2826	2826	2827	2827	2827	2828	2830	2833
3500	2884	2884	2884	2884	2885	2886	2887	2888	2891	2895
4000	0,2942	0,2942	0,2943	0,2943	0,2945	0,2947	0,2949	0,2951	0,2955	0,2959

c'X	υ_0									
	1300	1250	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	850
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2552	2552	2552	2552	2552	2553	2553	2555	2557	2559
1000	2605	2605	2605	2605	2606	2608	2610	2613	2617	2620
1500	2659	2659	2660	2661	2663	2666	2670	2674	2679	2683
2000	2715	2716	2718	2720	2723	2727	2732	2737	2744	2750
2500	2773	2776	2779	2782	2785	2791	2797	2803	2812	2820
3000	2833	2837	2841	2845	2850	2857	2864	2872	2883	2893
3500	2895	2900	2905	2910	2917	2925	2934	2945	2958	2971
4000	0,2950	0,2965	0,2971	0,2978	0,2987	0,2996	0,3008	0,3022	0,3037	0,3054

c'X	v_0									
	850	800	750	700	650	600	550	500	475	450
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2559	2560	2562	2564	256	2568	2571	2573	2575	2576
1000	2620	2623	2627	2631	2635	2640	2646	2652	2655	2658
1500	2683	2688	2694	2701	2708	2716	2726	2735	2736	2738
2000	2750	2757	2765	2776	2786	2794	2809	2820	2814	2810
2500	2820	2830	2840	2854	2867	2883	2895	2902	2886	2870
3000	2893	2906	2920	2936	2953	2971	2982	2976	2949	2920
3500	2971	2987	3005	3023	3043	3060	3064	3039	3002	2964
4000	0,3054	0,3073	0,3095	0,3115	0,3135	0,3147	0,3135	0,3090	0,3047	0,3002

c'X	v_0								
	450	425	400	375	350	325	300	275	250
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2576	2578	2580	2577	2565	2550	2535	2533	2533
1000	2658	2658	2640	2615	2585	2568	2566	2566	2566
1500	2738	2733	2718	2691	2653	2616	2600	2598	2598
2000	2810	2798	2773	2732	2685	2648	2632	2630	2630
2500	2870	2850	2815	2765	2715	2680	2664	2662	2662
3000	2920	2891	2847	2794	2745	2713	2697	2695	2695
3500	2964	2924	2875	2822	2776	2745	2730	2728	2728
4000	0,3002	0,2953	0,2902	0,2850	0,2807	0,2778	0,2764	0,2761	0,2761

3.Значения поправочных коэффициентов

m_ω, m_q, m_{Wo}, m_f, m_{Jk}

p_{max}, МПа	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			m_ω		
200	2,04	2,17	2,29	2,38	2,42
250	2,14	2,28	2,43	2,57	2,71
300	2,22	2,39	2,56	2,74	2,92
350	2,30	2,46	2,69	2,90	3,12
400	2,38	2,59	2,82	3,05	3,28
			m_q		
200	0,69	0,73	0,76	0,78	0,80
250	0,72	0,78	0,81	0,83	0,84
300	0,72	0,80	0,84	0,86	0,88
350	0,70	0,80	0,86	0,88	0,90
400	0,66	0,79	0,87	0,89	0,91
			m_{Wo}		
200	1,36	1,45	1,52	1,59	1,66
251	1,48	1,58	1,67	1,74	1,81
300	1,57	1,68	1,78	1,86	1,94
350	1,63	1,75	1,86	1,96	2,06
400	1,66	1,80	1,92	2,03	2,14
			m_f		
200	1,80	1,78	1,72	1,64	1,56
250	1,81	1,81	1,76	1,67	1,58
300	1,78	1,78	1,79	1,69	1,60
350	1,73	1,78	1,78	1,70	1,62
400	1,66	1,73	1,76	1,71	1,66
			m_{Jk}		
200	1,49	1,40	1,32	1,24	1,16
250	1,50	1,46	1,40	1,33	1,26
300	1,50	1,50	1,46	1,40	1,34
350	1,45	1,51	1,50	1,44	1,38
400	1,36	1,48	1,50	1,46	1,42
			l_ω		
			$\lambda_д$=6		
200	0,76	0,87	0,95	-	-
250	0,68	0,77	0,86	0,92	0,98
300	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88
350	0,59	0,63	0,68	0,73	0,78
400	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69
			$\lambda_д$=7		
200	0,74	0,85	0,93	-	-
250	0,67	0,75	0,83	0,90	0,97
300	0,62	0,67	0,73	0,79	0,85
350	0,58	0,62	0,66	0,70	0,74

p_{max}, МПа	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
400	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67
			$\lambda_д$=8		
200	0,73	0,83	0,92	-	-
250	0,66	0,73	0,81	0,88	0,95
300	0,61	0,66	0,71	0,77	0,82
350	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71
400	0,55	0,58	0,60	0,62	0,64
			$\lambda_д$=9		
200	0,72	0,81	0,90	-	-
250	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93
300	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
350	0,57	0,60	0,64	0,64	0,70
400	0,54	0,57	0,59	0,61	0,62
			$\lambda_д$=10		
200	0,72	0,80	0,89	0,93	0,98
250	0,65	0,71	0,77	0,84	0,90
300	0,60	0,65	0,69	0,74	0,78
350	0,56	0,60	0,63	0,67	0,70
400	0,54	0,56	0,58	0,61	0,64
			l_a		
			$\lambda_д$=6		
200	0,32	0,26	0,19	-	-
250	0,37	0,32	0,27	0,22	0,17
300	0,40	0,36	0,32	0,27	0,22
350	0,42	0,39	0,35	0,32	0,29
400	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32
			$\lambda_д$=7		
200	0,33	0,28	0,20	-	-
250	0,38	0,33	0,28	0,22	0,17
300	0,41	0,37	0,33	0,28	0,23
350	0,43	0,40	0,36	0,33	0,30
400	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33
			$\lambda_д$=8		
200	0,34	0,29	0,21	-	-
250	0,39	0,34	0,29	0,23	0,17
300	0,42	0,38	0,34	0,29	0,24
350	0,44	0,41	0,37	0,33	0,31
400	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34
			$\lambda_д$=9		
200	0,35	0,30	0,22	-	-
250	0,39	0,35	0,30	0,24	0,18
300	0,42	0,38	0,34	0,30	0,26
350	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31
400	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34

p_{max}, МПа	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			$\lambda_д$=10		
200	0,36	0,31	0,26	0,21	0,16
250	0,40	0,36	0,31	0,26	0,21
300	0,43	0,39	0,35	0,30	0,26
350	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31
400	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34
			l_f		
			$\lambda_д$=6		
200	0,66	0,72	0,73	-	-
250	0,61	0,66	0,71	0,72	-
300	0,57	0,61	0,66	0,71	0,75
350	0,55	0,58	0,62	0,66	0,70
400	0,54	0,56	0,59	0,62	0,65
			$\lambda_д$=7		
200	0,64	0,70	0,73	-	-
250	0,60	0,65	0,70	0,71	-
300	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73
350	0,55	0,58	0,61	0,65	0,69
400	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64
			$\lambda_д$=8		
200	0,63	0,69	0,72	-	-
250	0,59	0,64	0,69	0,71	0,73
300	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72
350	0,54	0,57	0,60	0,64	0,68
400	0,53	0,55	0,57	0,60	0,63
			$\lambda_д$=9		
200	0,62	0,68	0,72	-	-
250	0,57	0,62	0,67	0,70	0,73
300	0,55	0,58	0,62	0,67	0,71
350	0,54	0,56	0,59	0,63	0,67
400	0,53	0,55	0,57	0,60	0,62
			$\lambda_д$=10		
200	0,62	0,67	0,72	-	-
250	0,57	0,62	0,66	0,71	0,73
300	0,54	0,57	0,61	0,66	0,70
350	0,53	0,55	0,58	0,62	0,66
400	0,52	0,54	0,56	0,59	0,62
			l_{fk}		
			$\lambda_д$=6		
200	0,30	0,45	0,49	-	-
250	0,18	0,29	0,44	0,48	-
300	0,12	0,21	0,32	0,46	0,60
350	0,09	0,15	0,23	0,35	0,47
400	0,07	0,11	0,17	0,26	0,35

p_{max}, МПа	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			$\lambda_д$=7		
200	0,28	0,41	0,48	-	-
250	0,17	0,27	0,40	0,46	-
300	0,11	0,19	0,29	0,42	0,55
350	0,08	0,14	0,21	0,32	0,43
400	0,06	0,10	0,15	0,23	0,32
			$\lambda_д$=8		
200	0,25	0,38	0,46	-	-
250	0,16	0,26	0,37	0,46	0,55
300	0,10	0,17	0,27	0,39	0,51
350	0,07	0,12	0,19	0,29	0,39
400	0,06	0,09	0,14	0,21	0,28
			$\lambda_д$=9		
200	0,23	0,35	0,45	-	-
250	0,15	0,24	0,34	0,46	0,58
300	0,10	0,16	0,25	0,36	0,47
350	0,07	0,11	0,18	0,27	0,36
400	0,05	0,08	0,13	0,20	0,27
			$\lambda_д$=10		
200	0,22	0,33	0,44	-	-
250	0,14	0,25	0,32	0,45	0,58
300	0,09	0,15	0,23	0,34	0,45
350	0,07	0,11	0,17	0,26	0,35
400	0,05	0,08	0,13	0,19	0,25

l_{wo}

$\lambda_д$	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{wo}	0,41	0,34	0,28	0,23	0,19	0,16	0,15	0,14

4.Данные для баллистического расчёта (ТБР)

$$\upsilon_{\text{табл}} = \upsilon_{\text{д}}\sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}$$

$\lambda_{\text{д}}$	Δ=0,70				Δ=0,71			
	p_{max}, МПа							
	260	280	300	320	260	280	300	320
2,5				1345				1335
3,0			1400	1434			1390	1425
3,5		1433	1472	1505		1423	1463	1497
4,0	1447	1492	1530	1562		1483	1522	1555
4,5	1498	1541	1579	1610	1488	1532	1571	1603
5,0	1542	1584	1621	1651	1530	1574	1612	1644
5,5	1580	1622	1657	1686	1567	1611	1648	1679
6,0	1613	1655	1689	1717	1601	1644	1680	1710
6,5	1643	1684	1718	1745	1632	1674	1709	1738
7,0	1671	1711	1744	1770	1660	1702	1736	1764
7,5	1697	1736	1768	1793	1686	1727	1760	1787
8,0	1720	1758	1789	1814	1710	1750	1782	1808
9,0	1761	1798	1827	1850	1752	1789	1820	1845
10,0	1796	1831	1860	1882	1788	1824	1853	1877
11,0	1826	1860	1888	1910	1819	1854	1882	1905
12,0	1853	1886	1913	1935	1846	1880	1907	1930
13,0	1877	1909	1935	1957	1870	1903	1930	1952
14,0	1899	1930	1956	1977	1892	1924	1950	1972
15,0	1920	1950	1975	1995	1912	1943	1969	1991
16,0	1939	1968	1992	2012	1931	1961	1986	2008
17,0	1957	1985	2008	2028	1948	1978	2002	2023
18,0	1973	2001	2023	2043	1964	1933	2017	2037
19,0	1988	2015	2037	2056	1979	2008	2031	2050
20,0	2001	2028	2050	2068	1994	2022	2045	2063
$\lambda_{\text{к}}$	3,944	3,162	2,616	2,227	4,229	3,361	2,782	2,351
$\upsilon_{\text{к}}$	1440	1384	1334	1289	1460	1404	1353	1308
B	2,333	2,153	2,000	1,871	2,398	2,216	2,060	1,927

$\lambda_д$	Δ=0,72				Δ=0,73			
	p_{max}, МПа							
	260	280	300	320	260	280	300	320
2,5				1329				
3,0			1383	1491				1411
3,5			1455	1490			1446	1483
4,0		1473	1513	1547		1463	1505	1540
4,5		1523	1562	1595		1512	1553	1587
5,0	1520	1565	1603	1636	1508	1554	1594	1628
5,5	1557	1602	1639	1672	1547	1591	1630	1669
6,0	1591	1635	1672	1704	1581	1625	1663	1696
6,5	1622	1665	1702	1733	1612	1656	1693	1726
7,0	1650	1693	1729	1759	1640	1684	1721	1752
7,5	1676	1719	1754	1782	1667	1710	1746	1776
8,0	1700	1742	1776	1803	1692	1734	1769	1797
9,0	1741	1781	1814	1840	1732	1773	1806	1835
	1777	1816	1847	1873	1769	1808	1839	1868
10,0	1809	1846	1876	1901	1801	1838	1869	1896
11,0	1837	1872	1901	1926	1829	1865	1895	1921
12,0	1862	1896	1924	1948	1854	1889	1918	1943
13,0	1884	1918	1945	1968	1876	1910	1939	1963
14,0	1904	1937	1964	1986	1897	1930	1958	1982
15,0	1923	1955	1982	2003	1916	1949	1976	1999
16,0	1941	1972	1998	2019	1934	1966	1992	2014
17,0	1957	1988	2013	2033	1950	1981	2007	2029
18,0	1973	2003	2027	2047	1966	1996	2021	2043
19,0	1988	2017	2041	2060	1981	2010	2034	2056
20,0								
$\lambda_к$	4,582	3,596	2,949	2,487	4,952	3,860	3,142	2,639
$\upsilon_к$	1481	1424	1373	1326	1503	1446	1394	1347
B	2,464	2,277	2,116	1,977	2,530	2,341	2,177	2,034

$\lambda_д$	Δ=0,74				Δ=0,75			
	p_{max}, МПа							
	260	280	300	320	260	280	300	320
3,0				1405				1394
3,5			1438	1477				1466
4,0			1496	1533			1487	1523
4,5		1502	1544	1580		1490	1535	1571
5,0		1544	1585	1621		1533	1576	1612
5,5	1534	1581	1622	1685		1571	1612	1648
6,0	1570	1615	1655	1691	1557	1605	1645	1680
6,5	1601	1646	1685	1721	1589	1635	1675	1709
7,0	1629	1674	1713	1747	1618	1663	1703	1736
7,5	1655	1700	1738	1771	1644	1689	1728	1761
8,0	1679	1724	1761	1792	1668	1713	1751	1783
9,0	1722	1764	1800	1830	1709	1754	1790	1821
	1759	1800	1834	1863	1747	1790	1825	1854
10,0								
	1792	1831	1864	1892	1780	1821	1855	1883
11,0								
	1821	1858	1890	1917	1809	1848	1881	1909
12,0								
	1846	1882	1913	1939	1835	1873	1905	1932
13,0								
	1868	1903	1933	1959	1858	1895	1926	1952
14,0								
	1889	1923	1952	1977	1880	1916	1946	1971
15,0								
	1908	1942	1970	1994	1900	1935	1964	1988
16,0								
	1925	1959	1986	2010	1918	1952	1981	2004
17,0								
	1941	1975	2002	2025	1934	1968	1996	2018
18,0								
	1957	1990	2016	2039	1949	1982	2010	2032
19,0								
	1972	2004	2029	2052	1964	1996	2023	2045
20,0								
$\lambda_к$	5,354	4,142	3,361	2,802	5,828	4,475	3,575	2,985
$\upsilon_к$	1524	1466	1414	1368	1544	1486	1434	1387
B	2,597	2,403	2,233	2,083	2,668	2,472	2,302	2,152

$\lambda_д$	Δ=0,76				Δ=0,77			
	p_{max}, МПа							
	260	280	300	320	260	280	300	320
3,5				1459				1449
4,0			1476	1516				1507
4,5			1525	1564			1514	1555
5,0		1522	1567	1605			1556	1596
5,5		1560	1604	1641		1548	1594	1632
6,0		1594	1637	1673		1583	1628	1665
6,5	1576	1626	1626	1673		1615	1658	1695
7,0	1606	1654	1695	1730	1593	1643	1685	1722
7,5	1632	1680	1720	1754	1620	1668	1710	1746
8,0	1656	1702	1742	1776	1643	1690	1732	1767
9,0	1698	1743	1781	1813	1685	1732	1771	1805
10,0	1736	1779	1816	1847	1724	1769	1806	1840
11,0	1770	1811	1847	1877	1759	1802	1837	1870
12,0	1800	1840	1874	1903	1789	1831	1865	1896
13,0	1826	1865	1898	1926	1814	1856	1890	1919
14,0	1849	1887	1919	1947	1838	1879	1912	1940
15,0	1870	1908	1939	1966	1860	1900	1932	1959
16,0	1890	1927	1957	1983	1880	1919	1950	1977
17,0	1909	1945	1974	1999	1898	1936	1967	1993
18,0	1926	1961	1990	2014	1915	1952	1982	2008
19,0	1941	1975	2004	2028	1931	1966	1996	2022
20,0	1955	1989	2017	2041	1946	1981	2010	2036
$\lambda_к$	6,329	4,832	3,844	3,169	6,833	5,199	4,114	3,373
$\upsilon_к$	1564	1506	1454	1408	1585	1526	1474	1427
B	2,739	2,538	2,363	2,208	2,814	2,609	2,430	2,271

$\lambda_д$	Δ=0,78				Δ=0,79			
	p_{max}, МПа							
	280	300	320	360	280	300	320	360
3,0				1438				1427
3,5				1509				1498
4,0			1499	1565			1486	1555
4,5		1504	1547	1612			1535	1603
5,0		1547	1588	1652		1535	1577	1644
5,5		1585	1625	1687		1573	1614	1679
6,0	1574	1620	1659	1719		1608	1647	1710
6,5	1607	1651	1689	1748	1593	1639	1677	1738
7,0	1635	1679	1716	1773	1623	1667	1704	1764
7,5	1660	1704	1740	1795	1649	1692	1729	1787
8,0	1683	1725	1761	1815	1671	1714	1751	1808
9,0	1725	1765	1800	1853	1713	1754	1790	1845
10,0	1762	1800	1835	1885	1750	1790	1824	1878
11,0	1794	1831	1865	1913	1783	1822	1854	1907
12,0	1823	1859	1891	1938	1813	1850	1881	1932
13,0	1849	1884	1914	1960	1839	1875	1905	1954
14,0	1872	1906	1935	1980	1862	1897	1926	1974
15,0	1893	1926	1954	1998	1883	1917	1946	1992
16,0	1912	1945	1972	2014	1902	1936	1964	2008
17,0	1930	1962	1989	2029	1920	1953	1981	2023
18,0	1946	1978	2004	2044	1937	1969	1996	2038
19,0	1961	1992	2018	2058	1953	1984	2010	2052
20,0	1976	2006	2032	2071	1967	1998	2024	2066
$\lambda_к$	5,636	4,419	3,600	2,605	6,127	4,771	3,832	2,752
$\upsilon_к$	1548	1495	1447	1363	1569	1515	1467	1383
B	2.665	2,483	2,321	2,066	2,741	2,557	2,393	2,129

$\lambda_д$	Δ=0,80				Δ=0,81			
	p_{max}, МПа							
	280	300	320	360	280	300	320	360
3,0				1418				
3,5				1480				1481
4,0				1546				1538
4,5			1522	1595			1516	1568
5,0			1566	1637			1558	1627
5,5		1561	1604	1673			1595	1663
6,0		1597	1638	1704		1586	1628	1695
6,5		1629	1668	1732		1617	1658	1724
7,0	1610	1657	1695	1757		1644	1685	1750
7,5	1635	1681	1719	1780	1623	1669	1709	1773
8,0	1657	1702	1740	1801	1645	1691	1731	1794
9,0	1699	1743	1779	1838	1688	1734	1772	1832
10,0	1737	1780	1814	1871	1727	1771	1807	1865
11,0	1771	1813	1845	1900	1762	1804	1838	1894
12,0	1802	1842	1837	1926	1793	1833	1866	1919
13,0	1829	1868	1898	1949	1820	1859	1891	1942
14,0	1853	1891	1920	1969	1844	1881	1913	1962
15,0	1875	1912	1940	1987	1866	1903	1933	1982
16,0	1895	1931	1958	2003	1885	1922	1951	1999
17,0	1913	1948	1974	2018	1903	1939	1968	2015
18,0	1929	1963	1989	2033	1919	1955	1984	2030
19,0	1944	1977	2004	2047	1935	1970	1999	2043
20,0	1958	1991	2018	2061	1950	1984	2012	2056
$\lambda_к$	6,645	5,159	4,136	2,905	7,255	5,571	4,451	3,096
$\upsilon_к$	1589	1535	1487	1402	1610	1556	1508	1423
B	2,811	2,625	2,463	2,189	2,882	2,690	2,524	2,249

$\lambda_д$	Δ=0,82				Δ=0,83			
	p_{max}, МПа							
	280	300	320	360	280	300	320	360
3,5				1473				1462
4,0				1529				1520
4,5				1577				1568
5,0			1545	1618				1610
5,5			1584	1654			1572	1646
6,0			1618	1686			1607	1678
6,5		1608	1649	1715			1638	1707
7,0		1635	1676	1742		1622	1665	1733
7,5		1659	1700	1766		1647	1689	1757
8,0	1634	1681	1721	1787		1668	1710	1778
9,0	1677	1723	1763	1827	1664	1712	1752	1817
	1716	1760	1799	1860	1703	1750	1789	1851
10,0								
	1750	1793	1830	1889	1738	1783	1821	1880
11,0								
	1780	1823	1858	1914	1769	1812	1850	1906
12,0								
	1807	1850	1883	1936	1796	1838	1875	1929
13,0								
	1832	1874	1906	1957	1820	1862	1897	1950
14,0								
	1854	1895	1927	1976	1843	1884	1917	1969
15,0								
	1874	1914	1946	1993	1864	1904	1936	1987
16,0								
	1892	1931	1963	2010	1883	1922	1954	2004
17,0								
	1909	1947	1978	2024	1900	1938	1970	2019
18,0								
	1925	1962	1992	2038	1916	1954	1985	2033
19,0								
	1941	1977	2006	2051	1932	1968	1999	2046
20,0								
$\lambda_к$	7,940	6,053	4,787	3,284	8,733	6,582	5,183	3,498
$\upsilon_к$	1632	1577	1528	1442	1654	1598	1549	1462
B	2,956	2,759	2,591	2,310	3,035	2,832	2,832	2,373

$\lambda_д$	Δ=0,84				Δ=0,85			
	p_{max}, МПа							
	280	300	320	360	280	300	320	360
4,0				1512				1504
4,5				1559				1550
5,0				1600				1592
5,5				1637				1629
6,0			1595	1670				1661
6,5			1627	1699			1614	1689
7,0			1654	1725			1642	1715
7,5		1633	1678	1749			1667	1739
8,0		1657	1701	1771		1646	1689	1760
9,0		1700	1743	1811		1689	1732	1801
10,0	1691	1738	1780	1844		1727	1770	1837
11,0	1725	1772	1812	1873	1712	1761	1803	1867
12,0	1736	1802	1840	1899	1741	1791	1832	1893
13,0	1784	1829	1865	1923	1768	1818	1858	1917
14,0	1809	1853	1888	1944	1794	1843	1881	1938
15,0	1832	1875	1909	1963	1818	1866	1902	1958
16,0	1853	1895	1929	1981	1839	1886	1921	1976
17,0	1872	1914	1947	1998	1858	1905	1939	1992
18,0	1889	1931	1963	2014	1876	1922	1955	2007
19,0	1905	1945	1978	2028	1893	1937	1970	2021
20,0	1921	1960	1992	2041	1910	1951	1984	2034
$\lambda_к$	9,606	7,180	5,612	3,740	10,62	7,883	6,103	3,991
$\upsilon_к$	1676	1620	1569	1482	1697	1640	1590	1502
B	3,113	2,908	2,729	2,437	3,196	2,981	2,800	2,499

$\lambda_д$	Δ=0,86				Δ=0,87			
	p_{max}, МПа							
	280	300	320	360	280	300	320	360
4,5				1541				
5,0				1583				1570
5,5				1620				1608
6,0				1652				1642
6,5				1681				1672
7,0			1631	1707				1698
7,5			1656	1731			1643	1721
8,0			1679	1752			1666	1742
9,0		1678	1722	1794			1711	1784
		1716	1760	1829		1702	1750	1820
10,0								
		1750	1793	1859		1734	1783	1851
11,0								
	1725	1780	1822	1885		1764	1812	1878
12,0								
	1753	1807	1848	1909		1792	1938	1902
13,0								
	1778	1831	1872	1931	1762	1817	1861	1924
14,0								
	1801	1853	1893	1951	1785	1840	1883	1944
15,0								
	1822	1873	1912	1969	1807	1861	1903	1962
16,0								
	1843	1892	1930	1986	1827	1880	1921	1979
17,0								
	1862	1910	1947	2002	1846	1898	1937	1995
18,0								
	1878	1926	1962	2016	1863	1914	1952	2009
19,0								
	1894	1941	1976	2029	1879	1929	1967	2023
20,0								
$\lambda_к$	11,87	8,688	6,678	4,328	13,34	9,623	7,321	4,690
$\upsilon_к$	1722	1663	1612	1523	1746	1686	1634	1544
B	3,286	3,062	2,872	2,567	3,377	3,147	2,951	2,637

$\lambda_д$	Δ=0,88				Δ=0,89			
	p_{max}, МПа							
	280	300	320	360	280	300	320	360
5,5				1579				
6,0				1630				1618
6,5				1660				1649
7,0				1687				1677
7,5				1711				1701
8,0				1732				1722
9,0			1700	1776			1686	1766
			1738	1812			1724	1803
10,0								
		1720	1771	1843			1757	1835
11,0								
		1750	1800	1870		1734	1787	1863
12,0								
		1778	1826	1894		1763	1814	1888
13,0								
		1803	1850	1916		1789	1838	1910
14,0								
		1826	1872	1936		1813	1860	1930
15,0								
	1791	1847	1892	1954		1834	1880	1948
16,0								
	1810	1866	1910	1972		1853	1899	1965
17,0								
	1828	1884	1927	1988	1814	1871	1916	1981
18,0								
	1846	1901	1943	2003	1831	1888	1932	1995
19,0								
	1863	1917	1958	2016	1846	1904	1947	2009
20,0								
$\lambda_к$	15,07	10,71	8,055	5,087	17,06	11,93	8,897	5,546
$\upsilon_к$	1771	1709	1655	1565	1795	1732	1678	1586
B	3,468	3,230	3,028	2,705	3,561	3,314	3,107	2,774

$\lambda_д$	Δ=0,90				Δ=0,91			
	p_{max}, МПа							
	300	320	360	400	300	320	360	400
4,5				1569				1557
5,0				1609				1597
5,5				1644				1633
6,0				1676				1665
6,5			1633	1705				1694
7,0			1662	1731			1650	1720
7,5			1688	1754			1675	1744
8,0			1710	1775			1701	1767
9,0			1754	1817			1743	1807
		1708	1792	1852			1781	1842
10,0								
		1741	1824	1882		1727	1814	1873
11,0								
		1771	1852	1909		1758	1842	1901
12,0								
		1799	1876	1932		1786	1867	1925
13,0								
	1773	1824	1898	1952		1811	1890	1946
14,0								
	1797	1847	1918	1970		1834	1911	1965
15,0								
	1819	1868	1937	1988	1802	1855	1930	1982
16,0								
	1839	1887	1955	2005	1822	1854	1947	1998
17,0								
	1857	1904	1971	2020	1840	1891	1963	2013
18,0								
	1873	1920	1985	2033	1856	1906	1978	2028
19,0								
	1888	1934	1997	2045	1870	1920	1991	2042
20,0								
$\lambda_к$	13,38	9,855	6,071	4,105	15,02	10,95	6,667	4,475
$\upsilon_к$	1756	1701	1607	1530	1781	1725	1629	1551
B	3,409	3,197	2,853	2,585	3,501	3,280	2,927	2,654

$\lambda_д$	Δ=0,92				Δ=0.93			
	p_{max}, МПа							
	300	320	360	400	300	320	360	400
5,0				1584				
5,5				1619				1608
6,0				1651				1641
6,5				1680				1670
7,0				1701				1697
7,5			1664	1732				1722
8,0			1689	1756				1745
9,0			1732	1798			1718	1788
			1770	1834			1757	1825
10,0								
			1803	1865			1789	1856
11,0								
			1832	1892			1817	1883
12,0								
		1770	1858	1916			1843	1907
13,0								
		1796	1882	1937		1778	1867	1929
14,0								
		1819	1903	1956		1801	1889	1949
15,0								
		1839	1922	1974		1822	1909	1967
16,0								
		1858	1939	1991		1841	1927	1983
17,0								
	1822	1876	1954	2006		1858	1943	1998
18,0								
	1838	1891	1969	2020		1847	1958	2012
19,0								
	1853	1905	1983	2033	1837	1889	1972	2025
20,0								
$\lambda_к$	17,07	12,22	7,311	4,859	19,57	13080	8,075	5,292
$\upsilon_к$	1805	1747	1653	1574	1832	1773	1673	1596
B	3,599	3,370	3,008	2,729	3,700	3,465	3,091	2,802

$\lambda_д$	Δ=0,94				Δ=0,95			
	p_{max}, МПа							
	320	360	400	440	320	360	400	440
4,5				1592				1579
5,0				1630				1618
5,5				1663				1652
6,0			1628	1693				1683
6,5			1658	1720			1647	1710
7,0			1685	1746			1675	1736
7,5			1710	1770			1700	1760
8,0			1733	1792			1722	1782
9,0		1703	1777	1833			1766	1824
		1742	1814	1868		1726	1803	1859
10,0								
		1776	1846	1898		1758	1835	1889
11,0								
		1805	1873	1924		1788	1863	1915
12,0								
		1831	1897	1946		1815	1888	1938
13,0								
		1855	1919	1966		1840	1910	1559
14,0								
		1817	1939	1985		1862	1930	1978
15,0								
	1805	1897	1968	2002		1882	1948	1995
16,0								
	1825	1915	1975	2018		1900	1965	2010
17,0								
	1843	1931	1990	2033	1825	1917	1981	2025
18,0								
	1859	1946	2004	2047	1842	1932	1996	2040
19,0								
	1874	1960	2018	2060	1857	1946	2009	2053
20,0								
$\lambda_к$	15.70	8,934	5,802	4,083	17,98	9,933	6,371	4,421
$\upsilon_к$	1797	1697	1617	1550	1823	1721	1640	1572
B	3,558	3,174	2,878	2,640	3,659	3,261	2,955	2,712

5. Значения коэффициентов α', β', μ', ν' для определения динамических характеристик пуль

$\rho' = 2\frac{h}{d}$	$\frac{1}{2}\rho' = \frac{h}{d}$	$\frac{R}{d}$	α'	β'	μ'	ν'
1,00	0,50	0,50	2,0945	0,3750	0,4000	0,0613
1,73	0,87	1,00	1,8322	3330	3993	0510
2,00	1,00	25	7935	3284	3982	0492
2,50	25	82	7486	3234	3967	0474
2,65	33	2,00	7433	3218	3957	0465
3,00	50	50	7276	3205	3955	0464
3,32	66	3,00	7184	3185	3953	0463
3,50	75	32	7144	3179	3946	0463
3,60	80	99	7097	3173	3942	0462
3,88	94	4,02	7071	3169	3935	0461
4,00	2,00	25	7053	3164	3930	0461
4,20	10	66	7024	3163	3923	0460
4,40	20	5,09	7002	3159	3916	0459
4,60	30	50	6980	3156	3906	0459
4,80	40	6,01	6961	3154	3902	0458
5,00	50	50	6946	3151	3894	0458
5,20	60	7,01	6930	3149	3889	0457
5,40	70	54	6924	3147	3881	0457
5,60	80	8,09	6908	3146	3875	0456
5,80	90	66	6899	3145	3865	0456
5,92	2,96	9,01	6892	3144	3860	0456
6,00	3,00	9,25	6889	3143	3852	0456
6,20	10	86	6880	3142	3836	0455
6,24	12	98	6877	3142	3831	0455
6,40	20	10,49	6870	3141	3823	0455
6,60	30	11,14	6864	3141	3813	0455
6,70	35	48	6861	3140	3810	0455
6,80	40	81	6858	3139	3804	0455
6,86	43	12,02	6855	3139	3799	0455
7,00	3,50	12,50	1,6852	0,3139	0,3790	0,0455

6. Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 для определения динамических характеристик пуль

h/d	ζ/d									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
					K_1					
2,0	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72
2,5	92	89	86	83	81	79	77	76	75	74
3,0	93	90	87	84	82	81	79	78	77	76
3,5	94	91	88	86	84	82	81	79	78	77
4,0	0,95	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78
					K_2					
2,0	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88
2,5	98	96	94	92	91	90	90	90	89	89
3,0	98	96	95	93	92	91	91	90	90	90
3,5	98	96	96	94	93	92	92	91	90	90
4,0	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,91
					K_3					
2,0	0,90	0,83	0,78	0,74	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
2,5	91	84	79	76	72	70	68	66	65	63
3,0	92	85	81	78	74	72	70	69	67	66
3,5	93	87	83	80	76	74	72	71	70	69
4,0	0,94	0,88	0,84	0,82	0,78	0,76	0,74	0,74	0,72	0,72
					K_4					
2,0	0,92	0,86	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68	0,66	0,65	0,64
2,5	92	87	81	78	76	72	70	68	67	66
3,0	93	88	83	80	78	74	73	71	70	68
3,5	94	89	85	82	80	77	75	73	72	70
4,0	0,94	0,90	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72

Приложение 7

Механические характеристики гильзовых материалов

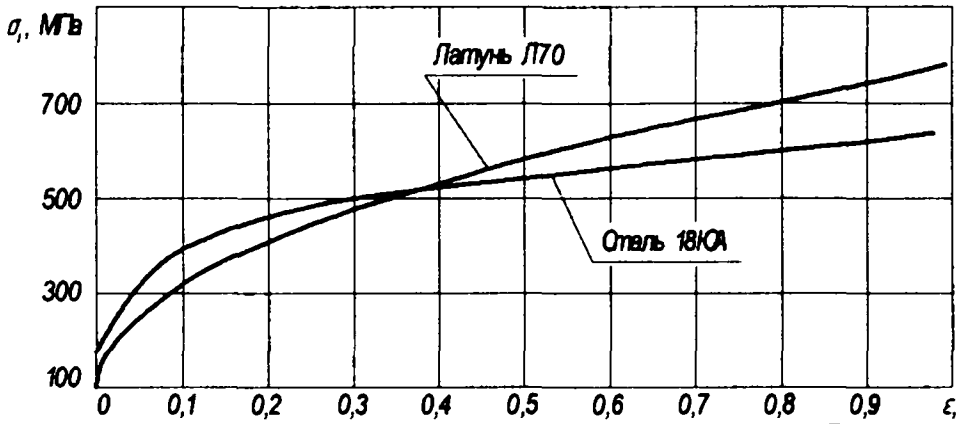


Рис. 1. Кривые упрочнения гильзовой стали 18ЮА и латуни Л70

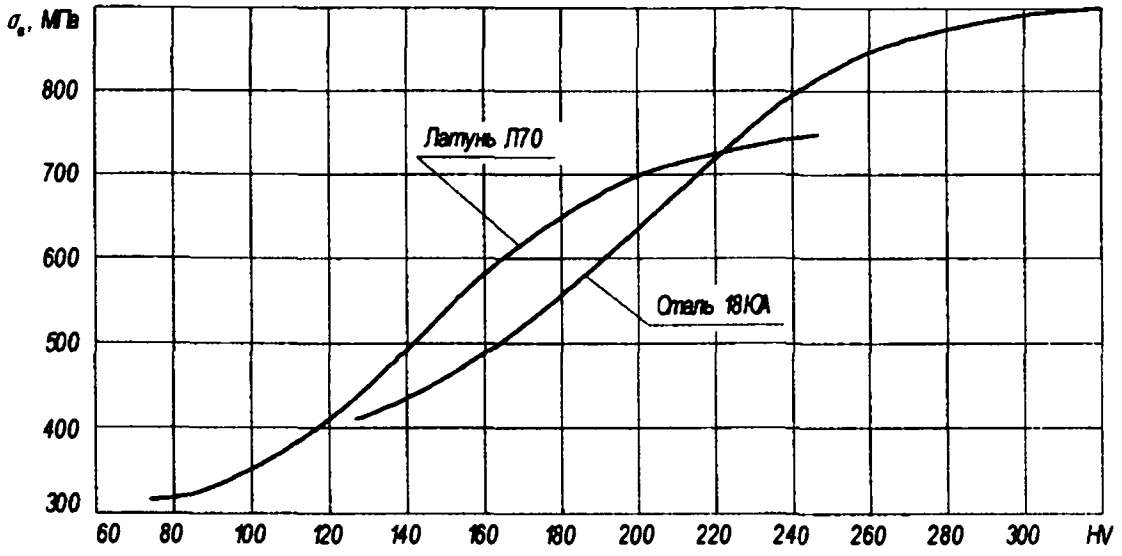


Рис. 2. Зависимость $\sigma_в - HV$ для гильзовой стали 18ЮА и латуни Л70

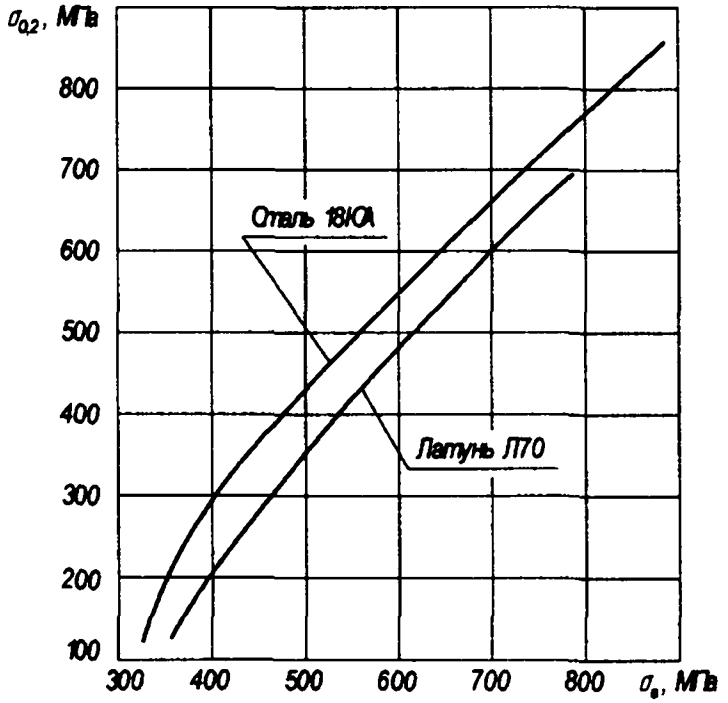


Рис. 3. Зависимость $\sigma_{0,2} - \sigma_в$ для гильзовой стали 18ЮА и латуни Л70

Основы проектирования патронов к стрелковому оружию

Данилин Геннадий Александрович, Огородников Виталий Павлович, Заволокин Андрей Борисович

Редактор *Г.М. Звягина*
Подписано в печать 01.07.2005. Формат 60x84/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,375. Тираж 500 экз. Заказ *№208*
Балтийский государственный технический университет
190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1